Government of Canada / Gouvernement du Canada
Canadian Forestry Service / Service canadien des forêts

Balsam fir decay in central and northeastern Quebec

André Lavallée

Information Report LAU-X-70E
Laurentian Forestry Centre

87-03773/

CENTRE DE FORESTERIE DES LAURENTIDES

Le Centre de foresterie des Laurentides (CFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF). Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CFL visent à acquérir une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers en vue de contribuer à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FORESTRY CENTRE

The Laurentian Forestry Centre (LFC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS). The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFC seek to acquire a better understanding of how the forest ecosystem works with a view to solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Balsam fir decay in central and northeastern Quebec

André Lavallée

Information Report LAU-X-70E
1986

Laurentian Forestry Centre
Canadian Forestry Service

Copies are available free of charge from:
Laurentian Forestry Centre
Canadian Forestry Service
1055 du P.E.P.S.
P.O. Box 3800
Sainte-Foy, Quebec
G1V 4C7

Catalog No. Fo46-18/70E
ISSN 0703-2188
ISBN 0-662-14705-7

©Minister of Supply and Services Canada, 1986

Aussi disponible en français sous le titre: "Les caries du sapin baumier dans le centre et le nord-est du Québec".

TABLE OF CONTENTS

	Page
LIST OF TABLES AND FIGURES	iv
ABSTRACT/RÉSUMÉ	vi
INTRODUCTION	1
METHODS	2
Field procedure	2
Data analysis	4
Compilations	4
Variables	5
RESULTS	6
Volumetric data	6
Boreal forest region	6
Mixed hardwood forest region	10
Principal fungi causing balsam fir decay	13
Location and frequency	13
Infection courts	13
Storey of infected trees	15
Some site characteristics	15
DISCUSSION AND CONCLUSIONS	17
ACKNOWLEDGEMENTS	20
REFERENCES	20

LIST OF TABLES AND FIGURES

Page

Table 1. Distribution of number of balsam fir trees measured and dissected at each locality according to forest type, soil fertility, and drainage class 7

Table 2. Volume compiled from basic field data collected during dissections of balsam fir in the boreal forest 7

Table 3. Average volume (dm^3) per tree and percentage decay and cull in relation to age class for balsam fir in the boreal forest (estimated values) 8

Table 4. Average volume (dm^3) per tree and percentage decay and cull in relation to diameter class for balsam fir in the boreal forest (estimated values) 9

Table 5. Volume compilations from basic field data collected during dissection of balsam fir trees in mixed hardwood forest 10

Table 6. Average volume (dm^3) per tree and percentage decay and cull in relation to age for balsam fir in mixed hardwood forest (estimated values) 11

Table 7. Average volume (dm^3) per tree and percentage decay and cull in relation to diameter class for balsam fir in mixed hardwood forest (estimated values) 12

Table 8. Distribution and frequency of fungi causing balsam fir decay 14

LIST OF TABLES AND FIGURES (cont'd)

Page

Table 9. Breakdown of decay categories according to storey of balsam fir tree in stand (all localities) 16

Table 10. Frequency and volume of balsam fir decay according to locality. 16

Figure 1. Location of balsam fir decay study sites 3

Figure 2. Average volume (dm^3) per tree in relation to age for balsam fir in the boreal forest. Gross merchantable volume (GMV), decay volume (DV), and cull volume (CV). . . 8

Figure 3. Average volume (dm^3) per tree in relation to diameter (dbh) for balsam fir in boreal forest. Gross merchantable volume (GMV), decay volume (DV), and cull volume (CV). 9

Figure 4. Average volume (dm^3) per tree in relation to age for balsam fir in mixed hardwood forest. Gross merchantable volume (GMV), decay volume (DV), and cull volume (CV). 11

Figure 5. Average volume (dm^3) per tree in relation to diameter (dbh) for balsam fir in mixed hardwood forest. Gross merchantable volume (GMV), decay volume (DV), and cull volume (CV). 12

ABSTRACT

By analysing results from the dissection of 8 404 balsam fir trees from boreal and mixed hardwood forest the volume of decay was determined in relation to age and diameter. In undisturbed boreal forest, the net merchantable volume of balsam fir increases up to 120 years old. In mixed hardwood forest, fir trees grow better because of environmental conditions, but there is also more decay; however, the net merchantable volume increases until age 140. The percentage of merchantable volume infected by decay is also presented in relation to diameter of the fir trees studied. In general, butt rot is more frequent and varied than trunk rot. On the other hand, the latter produces decay that is three times more voluminous than butt rot. More trunk rot occurs among trees of the dominant storey, while the incidence of butt rot is greater among dominated trees. The identity and frequency of the principal fungi responsible for balsam fir rot are also discussed.

RÉSUMÉ

L'analyse des résultats de dissection de 8 404 sapins baumiers de la forêt boréale ou de la forêt feuillue a permis de déterminer l'importance des caries en fonction de l'âge et du diamètre. En forêt boréale non perturbée, le volume marchand net du sapin progresse jusqu'à l'âge de 120 ans. Les conditions du milieu en forêt feuillue permettent des accroissements plus considérables du sapin et de ses caries, mais jusqu'à 140 ans, le volume marchand net continue de progresser. Le pourcentage du volume marchand affecté par les caries est aussi présenté en fonction du diamètre des sapins étudiés. En général, les caries du pied sont plus nombreuses et plus diversifiées que les caries du tronc. Par contre, ces dernières engendrent des caries trois fois plus volumineuses que les caries du pied. Une plus grande proportion d'arbres affectés de caries du tronc se rencontre chez les sapins de l'étage dominant tandis que les caries du pied sont plus fréquentes chez les arbres dominés. La fréquence et l'identité des principaux champignons de carie du sapin sont également considérées.

INTRODUCTION

In Canada, as in the United States, many trees were dissected between 1940 and 1960 to distinguish the kinds of rot occurring in the main tree species of the natural forest. Researchers aimed at establishing reduction factors for measuring losses from rot according to the age of stands (Spaulding and Hansbrough 1944). The identity of the fungi causing the various kinds of rot and their importance according to site were also studied (Basham et al. 1953).

In Quebec, an early study (McCallum 1928) was published on balsam fir (*Abies balsamea* [L.] Mill.), based on data collected in the Lac St-Jean and Lower St. Lawrence regions. Between 1938 and 1957, several other regions in the province were studied but, with the exception of a description of the kinds of balsam fir rot (Pomerleau 1948), few quantitative results were published. Two unpublished internal reports[1,2] were, however, prepared for two of the six localities. Two published documents, one from Ontario (Morawski et al. 1958) and the other from the Maritimes (Davidson 1957), often had to be used to establish values applicable to Quebec.

In Quebec, the gross merchantable volume of balsam fir is estimated at 919 million m^3 in the commercial forest (MER 1984). This volume represents one third of the softwoods (Bonnor 1982), and more intensive management of balsam fir stands will require the use of all available information on decay. Earlier studies were meant as a guide for the forester who was trying to estimate more accurately his inventory when making management and logging plans. In particular, results were calculated using scaling regulations for pulpwood and timber in order to estimate "cull" according to the current use of the species being studied. Today, fir is often logged in one piece or in sections that are longer than the traditional 1.22 m (4 ft.) bolt. Information on the real volume of decay becomes as relevant as that calculated to estimate "cull" in relation to scaling. With this in mind, a data bank on conifer decay in natural stands was used as the basis for the analyses on balsam fir presented in this report. Results will therefore be presented from two points of view - "decay" and "cull" - thereby enabling the user to choose the information that is most relevant to his requirements.

---

[1] Pomerleau, R. 1957. Studies on decay of balsam fir and red spruce in the eastern townships of Quebec. Interim Rep. 1957-1 and [2] Pomerleau, R.; Morin, L. 1959. Losses from decay in conifer stands in the Manicouagan watershed. Can. Dep. Agric., For. Biol. Lab. Qué., Interim Rep. 1959-1.

METHODS

Field procedure

The data collected under the direction of Dr. R. Pomerleau are the result of work done in the forest from 1940 to 1944 and from 1954 to 1957. Measurements were taken in the same way throughout the dissection sampling.

In the field, the two main criteria for selecting study sites were:

1. Homogeneity of the herbaceous ground cover determining forest type; and
2. tree growth and stand components representative of the adjacent forest. Stream banks, steep slopes, and shrub thickets were avoided. The main areas where balsam firs were dissected are illustrated in Figure 1. They are:

1. Baie-Comeau (the Manicouagan and Toulnoustouc river basins) and Shelter Bay (the Ste-Marguerite river basin);
2. Eastern Townships (the St-François, Nicolet, and Au Saumon river basins);
3. Duchesnay and the Aux Pins river basin;
4. Laurentides Park (the Noire, Jacques-Cartier, Ste-Anne, Aux Écorces, and Malbaie river basins);
5. Charlevoix (the Du Gouffre river basin); and
6. L'Islet, Lac Ste-Anne.

Three of these areas (1, 4, and 5) are representative of the boreal forest (Rowe 1972), in the balsam fir and spruce climatic zones (Grandtner 1966). Black spruce dominates but balsam fir can be found in varying proportions under almost all types of canopy. The stands studied had not been recently disturbed by fire or spruce budworm (*Choristoneura fumifera* - *rana* Clem.). The other three areas (2, 3, and 6) are mixed hardwood forest of the maple climatic zones.

In most sample plots, the stand was clearcut except at Baie-Comeau, where trees were cut selectively according to diameter for a given forest type. Most sample plots were rectangular, with an area of 0.1 ha (0.25 acres), and situated where there had been a minimum of previous intervention. A few sites were square, with an area of 0.04 ha (0.1 acres).

The tree's storey, signs indicating the infection courts of decay, and health were noted. Trees over 9 cm (3.5 in.) in diameter at breast height (dbh, at 1.3 m from the ground) were cut 15 cm from the ground and sectioned into lengths of 1.2 m (4 ft.). The following

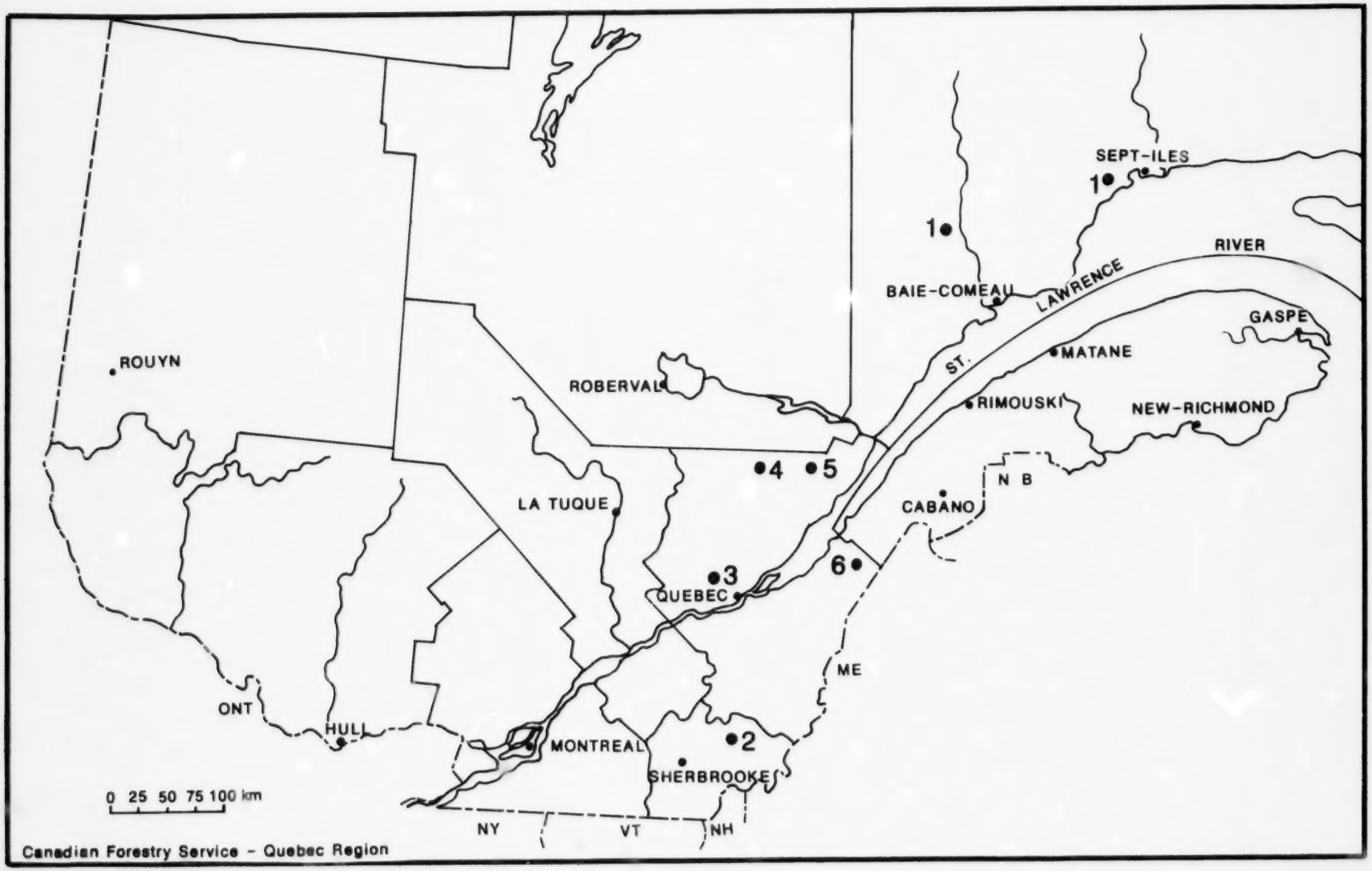

Figure 1. Location of balsam fir decay study sites.

measurements were taken: total length, diameter at half tree height in order to calculate the form-class, merchantable length (to a diameter of 7.6 cm (3 in.)), and diameter outside and inside the bark at each end of the bolt. The age of the tree was determined by the number of annual rings at breast height.

When rot was present, its diameter was noted at the ends of the bolts and, if necessary, the bolt was cut lengthwise to obtain the exact extent of the rot column. The decay was subsequently quantified as "cull" according to the Quebec Department of Lands and Forests scaling regulations in effect in 1955-1957. A sample of each rot was collected and sent to the laboratory for culturing and identification.

A survey of the vegetation and of the soil structure at each horizon was done within each area studied. The percentage of sand, clay, and silt in the soils was found by dry sifting. The pH and moisture equivalent were also obtained for each sample.

Data analysis

Compilations

The total volume of the tree was obtained by adding the butt volume (formula for a cylinder), the volume of the non-merchantable part of the trunk (diameter less than 9 cm (formula for a cone)), and finally the volume of the merchantable part of the trunk. The latter was calculated using Newton's formula for each 1.2 m bolt.

$$V = (B + 4B_{\frac{1}{2}} + b)\frac{L}{6}$$

where V = volume; L = length and B, b = cross sectional area at the large and small end of the bole.

Decay volumes were calculated using the same method (the formula for a cone and Newton's formula) since the exact length and diameter of decay were known for each bolt.

The results give the basic data (Tables 2 and 5) and values calculated from the curves (Tables 3, 4, 6, and 7). Age-volume curves were determined using the Régnière and Beilhartz[3] method for non-linear functions. The correlation coefficients (R^2) varied between 0.92 and 0.99.

[3] Régnière, J.; Beilhartz, D.W. 1983. Search, a user's manual. Non linear regression analysis: a handbook to commonly used equations, and initial parameter estimation. Environ. Can., Can. For. Serv. Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ontario, Mimeo. Rep.

• **Boreal forest**

$$GMV = \frac{240.7}{\left(1 + e^{-.1225\ (age\ -\ 92.2)}\right)0.23}$$

TV = 9.599 + 1.008 GMV
% decay = 0.725 + 0.674 (age)
% cull = 4.17 + 1.33 (% decay)
DV = % decay/100 x GMV
CV = % cull/100 x GMV

• **Mixed hardwood forest**

$$GMV = \frac{566.34}{\left(1 + e^{-.04\ (age\ -\ 92.6)}\right)0.85}$$

TV = 9.401 + 1.018 GMV
% decay = -2.41 + 1.229 (age)
% cull = 3.70 + 1.41 (% decay)

Curves in relation to dbh were obtained using polynomial or power-law equations:

• **Boreal forest**

$GMV = 91.7 - 17.677X_1 + 1.2116X_2$
$TV = 104.47 + 18.518X_1 + 1.248X_2$

$DV = 0.00036X_1^{3.5535}$

$CV = 0.00328X_1^{3.0389}$

• **Mixed hardwood forest**

$GMV = 144.27 - 22.730X_1 + 1.2802X_2$
$TV = 156.22 + 23.152X_1 + 1.305X_2$

$DV = 0.00041X_1^{3.4060}$

$CV = 0.00391X_1^{2.8908}$

Variables

The data were first analysed in relation to forest types. These were determined by examining the vegetation and were classified according to Bellefeuille (1932), Heimburger (1934), Ray (1941), Lafond (1956), or Linteau (1955), depending on what date the work was done. A few tendencies were detected when the study areas were analyzed at that level of subdivision. However, it was felt that there were not enough repetitions to conclude significant differences in forest type at one given locality or from one locality to another. The results were therefore presented simply for boreal forest and for mixed hardwood forest, with some additional tendencies being noted in relation to soil fertility and drainage class.

---

e = 2.718; GMV = gross merchantable volume; TV = total volume; DV = decay volume; CV = cull volume; X_1 and X_2 = dbh and dbh^2

Balsam fir was a component in 122 sample plots. Table 1 shows the distribution of trunk studies according to forest type and locality. In several cases, it can be seen that the sampling does not permit comparisons in all categories.

Finally, since all measurements were taken in British units, calculations were done on that basis and results converted to metric units.

RESULTS

Volumetric data

Boreal forest region

When the trees were dissected, more than half the area was overmature forest. The volumetric data obtained must therefore be interpreted accordingly; a pure balsam fir commercial forest might produce different results. On the other hand, the data give a good picture of conditions in an unmanaged virgin forest in Quebec.

Table 2 summarizes field data according to age class for balsam fir in the boreal forest. These figures were used to construct the curves in Figure 2 and arrive at estimated values for the average tree in each ten-year age class. The estimated values are presented in Table 3.

Table 3 shows the direct relationship between the percentage of decay or cull and the age of the tree. Until the tree is 120 years old, the net merchantable volume continues to increase; afterwards, the proportion of decay or cull rises, causing the net merchantable volume curve to drop. At this age, it can also be seen that the total volume, average height, and average diameter reach a ceiling. Since dissections were done on living trees only, the proportion of fir trees killed by decay cannot be evaluated in these stands. On the other hand, the average heights and diameters of these trees show that they reached maturity in this area at between 90 and 110 of age.

The volume and percentage of decay in relation to diameter (dbh) of the tree are presented in Figure 3 and Table 4. Trees of 23 cm or less had an average decay volume of approximately 6 percent of the gross merchantable volume; for trees of 24 to 30 cm this percentage is closer to 9 percent. On the other hand, the cull volume is between 12 and 15 percent of the gross merchantable volume for trees 12 to 28 cm dbh.

Table 1. Distribution of number of balsam fir trees measured and dissected at each locality according to forest type, soil fertility, and drainage class

Forest type	Fertility*	Drainage**	Number of trees						
			Boreal forest localities			Mixed hardwood forest localities			Total
			1	4	5	2	3	6	
Cornus-oxalis	I	G						272	272
Dryopteris-oxalis	I	M				494	596		1090
Aralia-Cornus	I	M	224						224
Aralia-Diervilla	I	M	192						192
Calliergon-Oxalis	II	G		297			494		791
Calliergon-Vaccinium	II	G	8	85			18		111
Kalmia-Vaccinium	II	G	3						3
Hypnum	II	G				47			47
Hylocomium-Oxalis	II	M	791	561	894	1134	60		3440
Hypnum-Cornus	II	M		110					110
Hypnum-Hylocomium	II	M		381					381
Hylocomium-Cornus	II	M	667		273				940
Calliergon	II	M	21						21
Sphagnum-Oxalis	II	P		637					637
Rubus-Oxalis	III	M				145			145
Total			1906	2071	1167	1820	1168	272	8404

* Fertility I to III from very good to poor.
** Drainage: good (G), moderately good (M), poor (P).

Table 2. Volume compiled from basic field data collected during dissections of balsam fir in the boreal forest

Age class	Number of trees examined	Average age	Average height (m)	Average dbh* (cm)	Volume (m³)						Percentage of gross merchantable volume	
					Total	Gross merchantable**	Decay	Cull	Net merchantable (minus decay)	Net merchantable (minus cull)	Decay	Cull
1-20	68	18	8.0	9.7	2.0	1.4	0.0	0.1	1.4	1.3	0.1	7.1
21-40	418	31	9.9	11.4	23.0	18.9	0.3	1.2	18.6	17.5	1.5	6.3
41-60	1083	52	11.8	12.4	91.4	80.9	4.5	9.1	76.4	71.8	5.6	11.2
61-80	1228	71	14.1	15.0	172.3	159.5	7.6	15.0	151.9	144.5	4.8	9.4
81-100	1274	90	15.2	17.5	259.8	245.6	17.1	32.1	228.5	213.5	7.0	13.1
101-120	602	109	15.6	19.3	152.9	145.7	13.6	24.0	132.1	121.7	9.3	16.5
121-140	262	129	15.4	19.3	67.2	64.1	7.5	13.0	56.6	51.1	11.7	20.2
141-160	139	149	15.5	19.3	33.4	32.0	2.7	5.0	29.3	27.0	8.4	15.6
161+	70	175	16.2	20.3	17.9	17.1	1.7	3.1	15.4	14.0	9.9	18.1
Total	5144				819.9	765.2	55.0	102.6	710.2	662.6		
Average											7.3	13.5

* Diameter at breast height, at 1.3 m from the ground.
** Minus the butt and non-merchantable part of the trunk.

Table 3. Average volume (dm^3) per tree and percentage decay and cull in relation to age class for balsam fir in the boreal forest (estimated values)

Age class	Number of trees examined	Average height (m)	Average dbh (cm)	Volume (dm^3) per tree						Percentage of gross merchantable volume	
				Total	Gross merchantable	Decay	Cull	Net merchantable (decay)	Net merchantable (cull)	Decay	Cull
20	137	8.3	10.2	41.3	31.5	0.7	2.2	30.8	29.3	2.1	6.9
30	211	10.2	11.0	51.6	41.7	1.2	3.3	40.5	38.4	2.8	7.8
40	325	10.6	11.4	65.3	55.2	1.9	4.8	53.3	50.4	3.4	8.7
50	583	11.9	12.4	83.3	73.2	3.0	7.0	70.2	66.2	4.1	9.6
60	604	12.9	13.5	107.0	96.7	4.6	10.2	92.1	86.5	4.7	10.5
70	609	14.0	14.7	137.4	128.9	6.9	14.5	114.4	114.4	5.4	11.4
80	658	14.5	16.3	173.7	162.8	10.0	20.0	152.8	142.8	6.1	12.3
90	668	15.2	17.5	209.7	198.4	13.5	26.2	184.9	172.2	6.8	13.2
100	462	15.5	18.3	234.6	223.2	16.7	31.5	206.5	191.7	7.5	14.1
110	310	15.8	19.2	246.2	234.7	19.1	35.2	215.6	199.5	8.1	15.0
120	191	15.8	19.5	250.3	238.7	21.1	38.0	217.6	200.7	8.8	15.9
130	122	15.8	19.5	251.5	240.0	22.8	40.3	217.2	199.7	9.5	16.8
140	94	15.9	19.8	251.9	240.4	24.4	42.5	216.0	197.9	10.2	17.7
150	64	15.9	19.8	252.0	240.5	26.1	44.7	214.4	195.8	10.8	18.6
160+	99	15.9	20.1	252.1	240.6	27.7	46.8	212.9	193.8	11.5	19.5

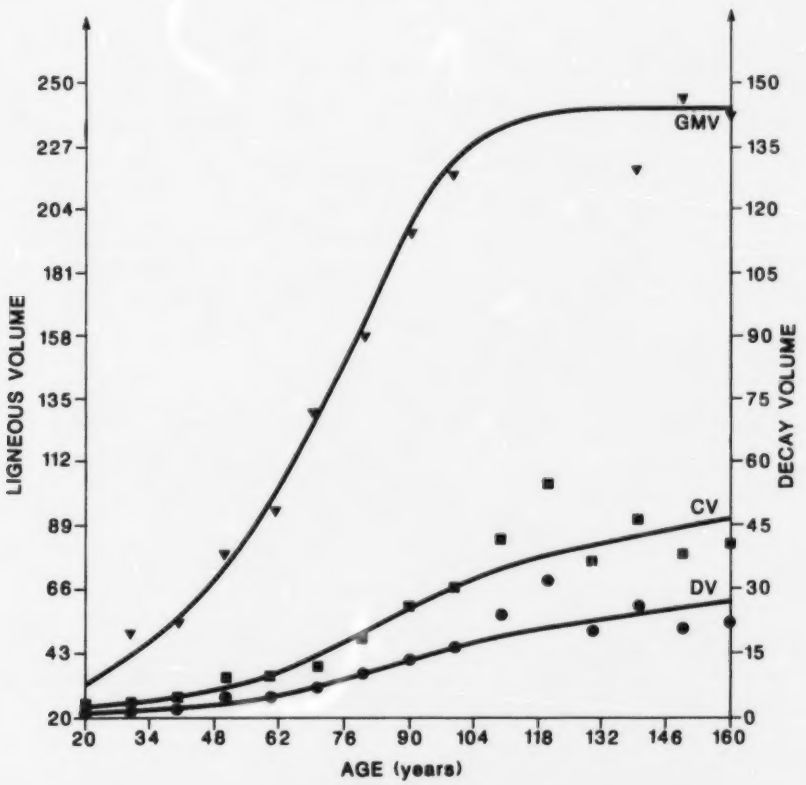

Figure 2. Average volume (dm^3) per tree in relation to age for balsam fir in the in the boreal forest. Gross merchantable volume (GMV), decay volume (DV), and cull volume (CV).

Table 4. Average volume (dm³) per tree and percentage decay and cull in relation to diameter class for balsam fir in the boreal forest (estimated values)

dbh (cm)	Number of trees	Average height (m)	Average age	Volume (dm³) per tree						Percentage of gross merchantable volume	
				Total	Gross merchantable	Decay	Cull	Net merchantable (decay)	Net merchantable (cull)	Decay	Cull
-9.0	444	7.6	52.0	22.0	13.3	0.6	1.9	12.7	11.4	4.5	14.2
10.2	863	9.5	61.5	38.5	29.8	1.4	3.8	28.4	26.0	4.7	12.7
12.7	877	12.2	71.6	71.3	62.1	3.0	7.4	59.1	54.7	4.8	11.7
15.2	841	14.0	80.0	111.6	107.9	5.7	12.8	102.2	97.1	5.3	11.9
17.8	803	15.8	87.0	179.6	169.0	10.0	20.7	159.0	148.3	5.9	12.2
20.3	580	17.1	92.2	251.8	240.1	16.0	30.8	224.1	209.3	6.6	12.8
22.9	342	18.2	97.2	339.5	326.2	24.6	44.4	301.6	281.8	7.5	13.6
25.4	179	19.2	103.2	435.2	420.1	35.5	60.8	384.6	359.3	8.5	14.5
27.9	115	20.6	110.6	541.5	524.3	49.6	80.8	474.7	443.5	9.5	15.4
30.5	66	22.0	113.3	662.6	642.9	68.1	105.9	574.8	537.0	10.6	16.4
31.8+	27	21.8	116.8	820.3	796.9	96.2	142.1	700.7	654.8	12.1	17.8

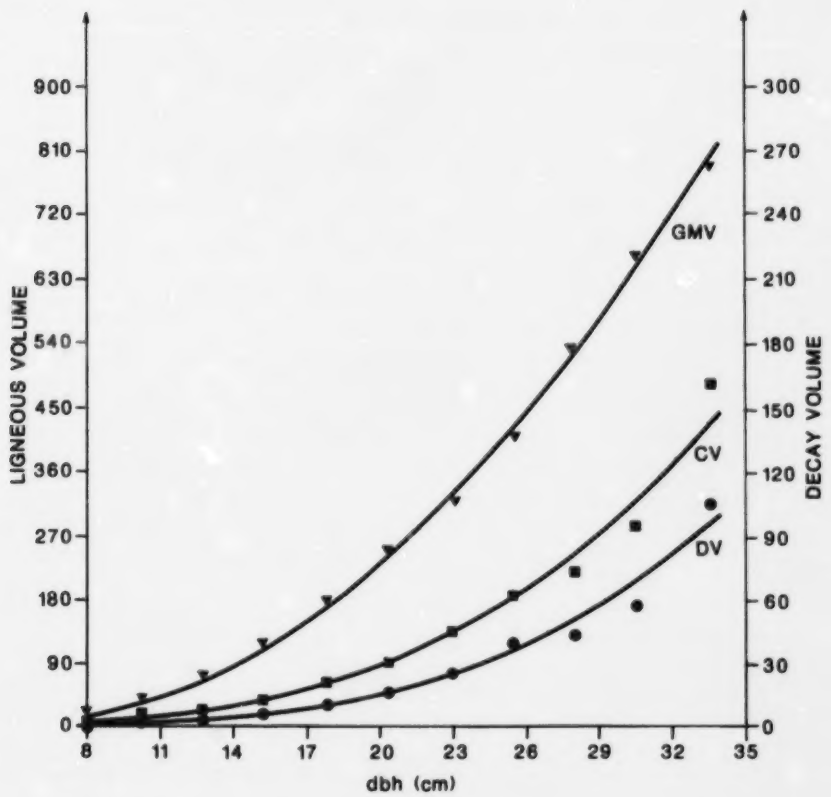

Figure 3. Average volume (dm³) per tree in relation to diameter (dbh) for balsam fir in boreal forest. Gross merchantable volume (GMV), decay volume (DV), and cull volume (CV).

Mixed hardwood forest region

In this type of forest, balsam fir is frequently found together with several other species. In the three localities representing this forest type, 3 260 trees were studied. A milder climate and more fertile soil support more productive forest in this area of southeastern Quebec. One of the differences between this area and the boreal forest region is that virgin stands were almost non-existent. This area had undergone at least one cutting by the end of the nineteenth century, so in 1955, the proportion of trees 80 years of age and over was much lower than in the boreal forest (Table 5).

The merchantable volumes from the mixed hardwood forest of southern Quebec are practically double those seen in boreal forest at comparable ages (Figure 4). Whether in terms of decay or cull, the net merchantable volume of balsam fir in mixed hardwood forest continues to increase significantly until age 140 (Table 6). Subsequently, it seems to reach a ceiling, without decreasing in absolute value. However, in mixed hardwood forest the percentage of decay in relation to gross merchantable volume (Table 6) seems higher than in boreal forest after age 60.

Table 5. Volume compilations from basic field data collected during dissections of balsam fir trees in mixed hardwood forest

Age class	Number of trees examined	Average age	Average height (m)	Average dbh* (cm)	Volume (m³)						Percentage of gross merchantable volume	
					Total	Gross merchantable**	Decay	Cull	Net merchantable (minus decay)	Net merchantable (minus cull)	Decay	Cull
1-20	22	19	6.7	8.6	0.4	0.3	0.0	0.03	0.3	0.3	0.0	10.0
21-40	441	33	10.4	11.4	27.3	23.0	0.2	1.2	22.8	21.8	0.9	5.2
41-60	1609	52	13.8	15.7	247.3	226.6	6.4	13.9	220.2	212.7	2.8	6.1
61-80	701	68	15.1	18.3	150.8	141.3	9.4	17.3	131.9	124.0	6.7	12.2
81-100	254	89	15.2	21.1	73.4	70.1	7.6	13.2	62.5	56.9	10.8	18.8
101-120	155	109	17.0	24.9	64.7	60.1	6.8	11.3	53.3	48.8	11.3	18.8
121-140	65	128	18.1	27.9	33.6	32.3	3.7	5.9	28.6	26.4	11.5	18.2
141-160	12	147	18.4	31.0	7.5	7.3	1.0	1.6	6.3	5.7	13.7	21.9
161+	1	170	17.4	32.0	0.6	0.5	0.1	0.2	0.4	0.3	20.0	40.0
Total	3260				605.6	561.5	35.2	64.7	526.3	496.8		
Average											6.3	11.5

* Diameter at breast height, at 1.3 m from the ground.

** Minus the butt and the non-merchantable part of the trunk.

Table 6. Average volume (dm^3) per tree and percentage decay and cull in relation to age for balsam fir in mixed hardwood forest (estimated values)

Age class	Number of trees	Average height (m)	Average dbh (cm)	Volume (dm^3) per tree						Percentage of gross merchantable volume	
				Total	Gross merchantable	Decay	Cull	Net merchantable (decay)	Net merchantable (cull)	Decay	Cull
20	81	7.7	9.1	56.0	45.8	0.1	1.7	45.7	44.1	0.1	3.8
30	208	10.2	10.9	73.3	63.0	0.8	3.4	62.2	59.6	1.3	5.5
40	434	12.0	13.5	96.8	85.8	2.1	6.2	83.7	79.6	2.5	7.2
50	810	13.6	15.7	126.8	115.4	4.3	10.4	111.1	105.0	3.7	9.0
60	836	14.9	17.0	164.5	152.3	7.6	16.3	144.7	136.0	5.0	10.7
70	321	15.2	18.5	209.5	196.6	12.2	24.4	184.4	172.2	6.2	12.4
80	156	15.4	20.3	260.6	246.8	18.3	34.9	222.5	211.9	7.4	14.2
90	138	15.4	20.9	314.9	300.1	25.9	47.7	274.2	252.4	8.7	15.9
100	91	15.5	22.1	368.5	352.8	34.9	62.2	317.9	290.6	9.9	17.6
110	81	16.7	25.4	417.9	401.3	44.6	77.7	356.7	323.6	11.1	19.4
120	48	17.7	25.9	460.3	443.0	54.6	94.4	388.4	348.6	12.3	21.1
130	37	17.8	27.9	494.6	476.7	64.7	108.8	412.0	367.9	13.6	22.8
140	14	17.9	28.7	521.0	502.6	74.3	123.4	428.3	379.2	14.8	24.6
150	2	17.9	33.0	540.5	521.7	83.6	137.2	438.1	384.5	16.0	26.3
160+	3	18.2	34.8	554.5	535.4	92.4	150.1	443.0	385.3	17.2	28.0

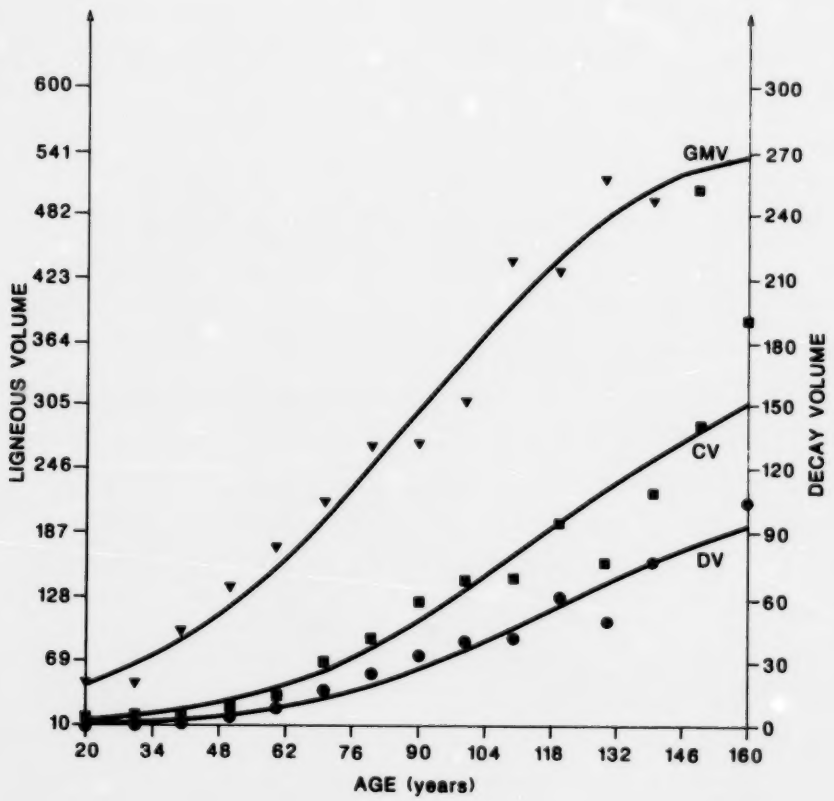

Figure 4. Average volume (dm^3) per tree in relation to age for balsam fir in mixed hardwood forest. Gross merchantable volume (GMV), decay volume (DV), and cull volume (CV).

Table 7. Average volume (dm³) per tree and percentage decay and cull in relation to diameter class for balsam fir in mixed hardwood forest (estimated values)

dbh (cm)	Number of trees	Average height (m)	Average age	Volume (dm³) per tree						Percentage of gross merchantable volume	
				Total	Gross merchantable	Decay	Cull	Net merchantable (decay)	Net merchantable (cull)	Decay	Cull
-9.0	150	7.6	37.1	22.2	12.8	0.5	1.6	12.3	11.2	3.9	12.5
10.2	529	9.9	46.0	40.3	30.4	1.1	3.2	29.3	27.2	3.6	10.5
12.7	598	12.1	54.7	72.7	62.0	2.4	6.1	59.6	55.9	3.9	9.8
15.2	527	14.0	58.3	116.4	104.8	4.4	10.2	100.4	94.6	4.2	9.7
17.8	407	15.1	62.1	173.3	160.5	7.5	16.1	152.5	144.4	4.7	10.0
20.3	332	16.2	66.1	238.5	224.4	11.7	23.5	212.7	200.7	5.2	10.4
22.9	253	17.2	68.7	316.6	301.0	17.6	33.3	283.4	267.7	5.8	11.1
25.4	193	17.9	74.6	401.1	383.8	25.1	44.9	358.7	337.9	6.5	11.7
27.9	114	18.5	79.7	494.3	475.2	34.4	59.0	440.6	416.2	7.2	12.4
30.5	73	19.1	93.3	599.9	578.6	46.5	76.3	532.1	502.3	8.6	13.2
31.8+	84	20.2	101.7	816.0	790.2	76.3	116.5	713.9	673.7	9.7	14.7

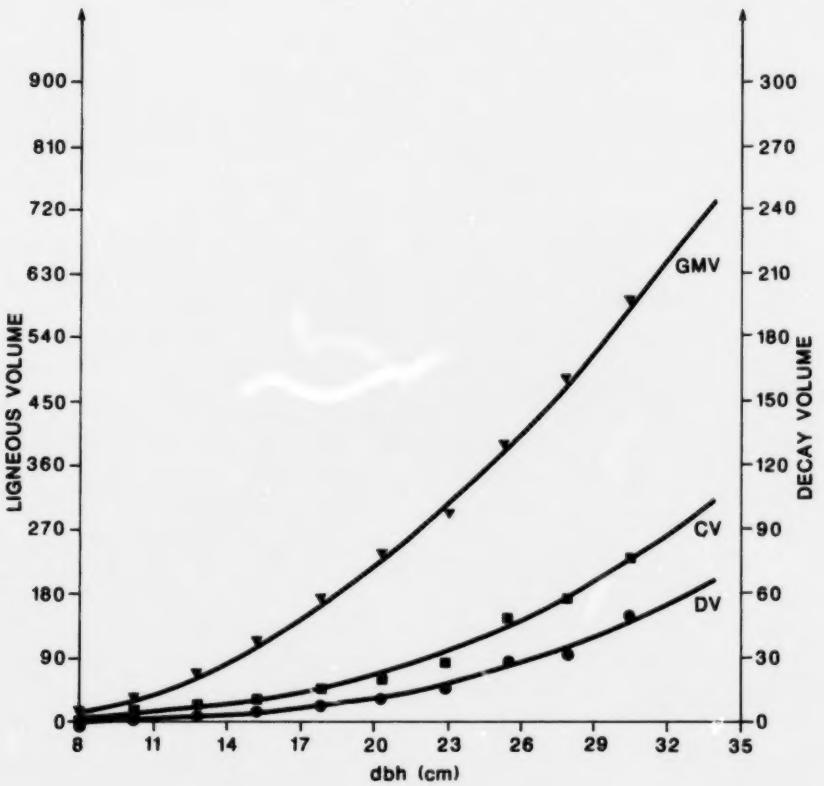

Figure 5. Average volume (dm³) per tree in relation to diameter (dbh) for balsam fir in mixed hardwood forest. Gross merchantable volume (GMV), decay volume (DV), and cull volume (CV).

The extent of decay in relation to dbh for balsam fir in mixed hardwood forest is illustrated in Figure 5. Trees smaller than 15 cm dbh show about 4 percent decay in terms of gross merchantable volume; this is equivalent to 10 percent cull (Table 7). For trees with a diameter of 18 to 30 cm, decay and cull vary from 5 to 8 percent and from 10 to 13 percent respectively.

Principal fungi causing balsam fir decay

By culturing each rot found during dissection, it was possible to identify the principal fungi that infect the trunk or butt of balsam fir in natural forest.

Location and frequency

Table 8 indicates the relative importance of rot-causing fungi for the various localities studied. Whether in boreal forest (localities 1, 4, and 5) or in mixed hardwood forest (localities 2, 3, and 6), *Stereum sanguinolentum* (Alb. and Schw. ex Fr.) Fr., subsequently known as *Haematostereum sanguinolentum* (Fr.) Pouzar, is responsible for virtually all trunk rot in balsam fir. This red rot also causes the greatest loss by volume.

Butt rot is more frequent than trunk rot but the volume of decay is much less. In addition, butt rot is caused by a greater variety of organisms. *Poria subacida* (Pk.) Sacc. can infect both hardwoods and softwoods and it is found on balsam fir at all localities studied. Because *Corticium galactinum* (Fr.) Burt. and *Poria subacida* (Peck.) Saccardo may have been misidentified in culture when the dissections were being done (White 1951), it is not possible to comment on their distribution. *Polyporus balsameus* Pk., causing a brown cubical butt rot, is the only other fungus found at all localities.

The low proportion of other fungi identified and their scattered distribution makes it impossible to identify mycoflora specific to boreal or mixed hardwood forest. None the less, it should be noted that *Armillaria mellea* (Vahl ex Fr.) Kumm., an ubiquitous forest pathogen, seems to infect balsam fir more frequently in mixed hardwood forest.

Infection courts

The only two trunk rot fungi considered for this analysis were *H. sanguinolentum* and *Fomes pinicola* (Sw ex Fr.) Cke. For the former, branch stubs served as the point of entry into the trunk in 67 percent of cases; other infection courts were mechanical wounds (16%), frost cracks (4%), split crotches (3%), and broken tops. *F. pinicola*, responsible for less than 1 percent of

trunk rot, entered mainly through mechanical wounds or dead or broken branches.

For the five main types of butt rot, the greatest majority of infection courts (97%) are at root level; there were no visible signs above ground level. Mechanical wounds and frost cracks were identified as the other types of infection courts. The absence of external signs of butt rot confirms that the study sites were not located in old burns and that no recent cutting or hauling had taken place in these stands.

It seems that balsam fir decay fungi generally used similar points of entry, irrespective of the locality, and it was not possible to detect any difference in evolution from one stand to another based on external signs of decay.

Table 8. Distribution and frequency of fungi causing balsam fir decay

Decayed part and fungus	Frequency in % by locality						Percentage of total
	Boreal forest locality			Mixed hardwood forest locality			
	1	4	5	2	3	6	All localities
Trunk rot							
Stereum sanguinolentum	49.0	44.0	33.4	34.4	43.5	38.1	41.0
Fomes pinicola	0.2	1.2	-	0.7	0.9	0.5	0.6
*Fomes pini**	-	0.1	-	0.8	0.4	-	0.3
Butt rot							
Poria subacida and/or	41.9	50.3	42.1	42.4	45.5	56.4	44.8
*Corticium galactinum***	-	-	-	-	-	-	-
Polyporus balsameus	2.8	3.5	6.3	3.7	8.4	0.5	4.3
Coniophora puteana	1.2	-	3.4	5.0	-	-	1.8
Odontia bicolor	0.9	-	-	2.6	-	-	0.7
Armillaria mellea	0.1	0.1	-	0.5	0.6	-	0.2
Merulius himantioides	0.2	-	-	2.1	-	-	0.5
Polyporus tomentosus	-	0.3	0.2	0.1	-	-	0.3
Polyporus schweinitzii	0.1	-	0.1	0.4	-	-	0.1
Polyporus abietinus	-	0.1	-	-	0.4	-	0.1
Unidentified *basidiomycetes*	3.6	0.4	14.5	7.3	0.3	4.5	5.3
Total	100	100	100	100	100	100	

* Occasionally butt rot.

** There may have been confusion between the two species over the course of the study.

Storey of infected trees

The proportion of infected trees at each storey of the stand as well as the relative volume and proportion of butt and trunk rot in relation to storey were studied. No particular tendency was evident when the data were reviewed in relation to locality or ecological type. The analysis therefore deals with the localities taken as a group.

Table 9 shows that 48 percent of the trees studied had no decay. The percentage of rot-free trees is greater at the intermediate and suppresssed storeys in each locality. The proportion of trees infected with butt rot increases from the dominant storey to the suppressed storey, whereas the reverse is true for the proportion of trees infected with trunk rot. In contrast, the volumes of both categories of decay decrease from the dominant storey to the suppressed storey. For a given storey, the average volume of trunk rot is five times greater than the volume of butt rot for the two higher storeys; this ratio is about 3:1 for the two lower storeys. The total of decay volumes from Table 9 does not correspond exactly to the total from the first part of this work because some cases of butt rot and trunk rot could not be assigned to one particular category and were omitted.

Some site characteristics

The frequency and volume of butt rot and trunk rot from one locality to another revealed differences which cannot be attributed to the number of trees studied or to the number of trees with rot (Table 10). For example, in the Baie-Comeau forest (locality 1) the average volume of trunk rot was higher than in Laurentides Park (locality 4), although the number of trees with decay was the same in both places. Unverifiable factors such as climate, topography, or the history of the stand probably explain these variations. To reduce the influence of such factors from one locality to another, an attempt was made to compare types of decay within a given locality and to report the number of localities where a given phenomenon was observed. The number of comparisons becomes so limited that we will simply summarize our findings below, rather than illustrate them with a very incomplete chart.

As mentioned earlier, butt rot is generally more frequent than trunk rot. One exception was noted in the fertility I class sites at Baie-Comeau (locality 1), where butt rot was twice as infrequent as trunk rot. Consequently, decay volumes for trunk rot are approximately three times greater than

Table 9. Breakdown of decay categories according to storey of balsam fir tree in stand (all localities)

Storey	Number of trees		Incidence of decay and percentage of trees infected by decay				Decay volume in m³ and as percentage of total decay volume				Average volume (dm³)*	
			Butt		Trunk		Butt		Trunk		Butt	Trunk
	Total	Decay-free (%)	No	%	No	%	m³	%	m³	%		
Dominant	1401	484 (34)	654	71.3	587	71.8	8.3	8.1	36.7	35.9	11.7	56.7
Co-dominant	2758	1148 (42)	1157	71.8	875	54.3	8.6	8.4	32.1	31.4	7.0	34.3
Intermediate	2450	1320 (54)	820	72.5	520	46.0	3.6	3.5	8.2	8.1	4.2	14.9
Suppressed	1795	1048 (58)	563	75.3	317	42.4	1.7	1.6	3.1	3.0	2.8	9.5
Total	8404	4000 (48)	3284		2299		22.1	21.6	80.1	78.4	6.5	32.7

* Average volume = decay volume ÷ incidence of decay.

Table 10. Frequency and volume of balsam fir decay according to locality

Locality	Number of trees		Incidence of decay		Total decay volume (m³)		Average decay volume (dm³)*	
	Total	With decay	Butt	Trunk	Butt	Trunk	Butt	Trunk
Boreal forest								
1	1906	940	631	607	3.5	25.4	5.5	41.8
4	2071	1176	860	700	5.1	18.6	5.9	26.6
5	1167	660	623	303	3.5	9.2	5.6	30.4
Mixed hardwood forest								
2	1820	944	748	427	5.2	14.3	6.9	33.5
3	1168	509	376	303	4.3	11.5	11.4	37.9
6	272	175	134	84	0.5	1.1	3.7	13.1

* Average volume = decay volume ÷ incidence of decay

those for butt rot in all localities except Baie-Comeau, where the ratio is 14:1.

In the fertility II class, the highest percentage of rot in terms of volume is found in forest type *Hylocomium-Oxalis* for three of four localities where it was encountered, the second highest being in type *Hylocomium-Cornus*. Forest type *Calliergon-Vaccinium* yielded the least rot in each of the three localities where it was studied, whether in boreal forest or in mixed hardwood forest. Mixed hardwood forest type *Dryopteris-Oxalix* also exhibited less decay than the others.

The only data suitable for use in comparing the three soil drainage classes is that collected in Laurentides Park (locality 4). Although the differences are not very significant, it should be pointed out that, here, the average volume and frequency of butt rot increases as one moves from well drained sites (5.2 dm^3/rot) to poorly drained sites (5.9 dm^3/rot); the frequency of butt rot is 2.5 times greater on poorly drained sites than on well drained sites. The ratio is the same for trunk rot but the differences among the three drainage classes are smaller. Comparisons in the other localities, between well drained sites and moderately well drained sites, showed nothing of interest. The one point we should mention is that in boreal forest type *Hypnum-Hylocomium* seemed more infected by rot than type *Hylocomium-Oxalis* in locality 4.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Most previously published studies on decay show a correlation between decay and age of the tree. Decay volume generally increases with the age of the tree and is influenced by many factors in the environment. The diameter-decay relationship can be considered in some cases, but we know that diameter is greatly influenced by the quality of the site in a given region. The data was therefore analysed mainly in relation to age, but in order to allow practical application, it was also presented in relation to diameter, even though there was less of a correlation at times.

With respect to ecological differentiation of volumetric data, the only distinction we could make in our analyses was between boreal forest and mixed hardwood forest in southern Quebec. The results from the decay studies done in different locations in the province can be used for general information, but they will have to be completed on a local basis if an improved level of accuracy is

desired. Since the data come from studies of individual trees taken from different stands of varying composition and density, it should not be used for extrapolations on the basis of area.

The volumetric figures on total and merchantable volume for trees in the boreal forest are somewhat lower than those of McCallum (1928), closer to those of Davidson (1957), and higher than those of Morawski et al. (1958). On the other hand, the percentages of decay or cull volume given by Morawski et al. (1958) compare closely with our data for mixed hardwood forest; the other studies mentioned report a higher percentage of cull, particularly among trees 100 years of age and over. Given the variety of sites studied and differences in scaling regulations for calculating cull, the values that we obtained are, on the whole, comparable to those published previously.

Results obtained from boreal forest are different from those for mixed hardwood forest and reflect significant differences in growing conditions. In the boreal forest, where balsam fir often co-exists with black spruce, a virgin stand, apparently, undisturbed by fire or insects, reaches maturity at about 120 years. At that point, almost 10 percent of the merchantable volume of living trees is decayed; scaled for pulpwood, this translates into approximately 18 percent cull. Beyond 120 years, it appears from the basic data that decay works cyclically; some trees, generally the most rotten, fall, and the decay volume of the remaining trees decreases only to increase again later. Type *Hyloconium-Cornus* which has the most decay, was often found in this kind of overmature forest.

In mixed hardwood forest, the net merchantable volume increases until about 140 years. In contrast, an analysis of some of this data puts pathological maturity at between 110 and 140 years, depending on forest type (Pomerleau 1957)[1]; Pomerleau also points out that maturity can occur at between 70 and 100 years according to average annual growth and periodic net growth. In the 140-year-old mixed hardwood forest, the proportions of decay and cull for pulp are, respectively, 15 and 25 percent of merchantale volume, which is itself double that for boreal forest. Environmental conditions in mixed hardwood forest seem, then, to encourage better growth both of the tree and of its decay pathogens.

Moreover, if cull had been calculated in terms of milling, it would have been necessary to add about 4

percent to the cull volume given in the results (Pomerleau 1957)[1]. As already noted (McCallum 1928), volumetric data and data related to the storey of the trees seem to indicate that fast-growing trees show a higher percentage of decay. On the other hand, for a given period, such trees yield a greater net volume of ligneous matter than slow-growing trees.

The identities, modes of entry, and relative importance of the balsam fir decay fungi correspond to what was reported previously (Basham et al. 1953; McCallum 1928; Spaulding and Hansbrough 1944). These studies point out that decay can result from the successive action of a number of fungi, of which some would be of secondary importance. However, the cumulative frequencies of rot fungi cultures obtained by various researchers in different places indicate to us that the relative importance of at least the six major pathogens is the same. More detailed studies in Quebec and elsewhere have already been done on the importance and mode of entry of the principal trunk rot fungus *H. sanguino - lentum* (Davidson and Etheridge 1963).

Trunk rot produces a much greater volume of decay than butt rot. It is possible that several infection courts on a given trunk feed a given decay column at different levels on the tree. In a second or third growth stand, or in a forest where hardwood trees have been cut by diameter limit, more decay in the trees at all storeys would be expected. Lortie (1968) illustraces and describes the great variety of infection courts that can be found in a forest more frequently disturbed, although younger, than those studied here. Our results indicate a higher proportion of decay-free trees at the lower storeys because at the time the areas were being studied, they were relatively undisturbed.

Comparisons between butt rot and trunk rot at a given locality are possible because the same trees are being considered in relation to the age and history of the stand. No major fungus was limited to a single locality. The relationship between the extent of decay and soil drainage in locality 4 corresponds to what Morawski et al. (1958) observed for balsam fir trees less than 100 years of age. However, this is the reverse of the relationship established by Whitney (1974) for a softwood stand in Ontario. More specific studies are needed to increase our knowledge about the frequency and rate of progression of decay in a particular type of forest. One point that should be the subject of future study has already been

mentioned, that is that butt rot is more frequent on well drained lands of mixed hardwood forest than on flat, less well drained lands of softwood forest (Heimburger and McCallum 1940, Basham et al. 1953).

These results should serve as a supplement to forest inventories, particularly when net merchantable volumes in relation to balsam fir decay must be determined. It is obvious that at the local level certain factors governing loss from rot will be different; consequently, additional samplings will be required if greater accuracy is to be obtained.

ACKNOWLEDGEMENTS

I sincerely thank R. Laguë, G. Robitaille, and J. Régnière of the LFC for their indispensable assistance during the analysis of the computerized data.

REFERENCES

Basham, J.T.; Mook, P.V.; Davidson, A.G. 1953. New information concerning balsam fir decays in eastern North America. Can. J. Bot. 31:334-360.

Bellefeuille, R. 1932. Détermination de la capacité de production des stations par l'étude de la végétation de sous-bois. Études forestières, Ass. Ing. Forestiers de la Prov. Québec, 1932. pp. 83-106.

Bonnor, G.M. 1982. Inventaire des forêts du Canada 1981. Environ. Can., Serv. Can. For., Stat. For. Systèmes. Ottawa, Ont. 79 p.

Davidson, A.G. 1957. Studies in Forest Pathology. XVI Decay in balsam fir, *Abies balsamea* (L.) Mill. in the Atlantic provinces. Can. J. Bot. 35:857-874.

Davidson, A.G.; Etheridge, D.E. 1963. Infection of balsam fir by *Stereum sanguinolentum* (Alb. and Schw. ex Fr.) Fr. Can. J. Bot. 41:759-765.

Grandtner, M.M. 1966. La végétation forestière du Québec méridional. Les Presses de l'Université Laval. Univ. Laval, Québec, Qué. 216 p.

Heimburger, C.C. 1934. Forest site studies in the Adirondack region. Cornell Univ., Agric. Exp. Stn., Memoir 165.

Heimburger, C.C.; McCallum, A.W. 1940. Balsam fir butt-rot in relation to some site factors. Pulp Paper Mag. Can. 41:301-303.

Lafond, A. 1956. Notes pour l'identification des types forestiers. Qué. North Shore Pap. Co., Baie-Comeau, 1ère édition.

Linteau, A. 1955. Forest site classification of the Northeastern conifer-

ous section boreal forest region, Quebec. Can. Dep. North. Affairs and Nat. Resour. For. Res. Div. Bull. 118, 93 p.

Lortie, M. 1968. Quelques défauts indicateurs de carie chez le sapin baumier. Fonds Rech. For. Univ. Laval. Bull. N° 11. 38 p.

McCallum, A.W. 1928. Studies in forest pathology. 1. Decay in balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill) Can. Dep. Agric. Bull. 104 (new series) 25 p.

Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. 1984. Ressource et industrie forestières. Portrait statistique 1984, 46 p.

Morawski, Z.J.R.; Basham, J.T.; Turner, K.B. 1958. A survey of pathological condition in the forests of Ontario. Ont. Dep. Lands For., Rep. No. 25, Cull Studies 96 p.

Pomerleau, R. 1948. Les caries du sapin. Qué. Minist. Terres For., Bull. n° 12 (nouvelle série) 8 p.

Ray, R.G. 1941. Site types and rate of growth. Can. Dep. Mines Resour., For. Br., For. Res. Div., Silv. Res. Note 65, 63 p.

Rowe, J.S. 1972. Les régions forestières du Canada. Environ. Can., Serv. Can. For., Publ. 1300F, 172 p.

Spaulding, P.; Hansbrough, J.R. 1944. Decay in balsam fir in New England and New York. U.S. Dep. Agric. Tech. Bull. 872:1-30.

White, L.T. 1951. Studies of Canadian Telephoraceae. VIII *Corticium galactinum* (Fr.) Burt. Can. J. Bot. 29:79-296.

Whitney, R.D. 1974. Appraisal of root rot damage in conifer stands in Ontario. Abstract Proc. Can. Phytol. Soc. No. 41.

Gouvernement du Canada
Service canadien des forêts

Government of Canada
Canadian Forestry Service

Les caries du sapin baumier dans le centre et le nord-est du Québec

André Lavallée

Rapport d'information LAU-X-70
Centre de foresterie des Laurentides

CENTRE DE FORESTERIE DES LAURENTIDES

Le Centre de foresterie des Laurentides (CFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF). Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CFL visent à acquérir une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers en vue de contribuer à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FORESTRY CENTRE

The Laurentian Forestry Centre (LFC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS). The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFC seek to acquire a better understanding of how the forest ecosystem works with a view to solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Les caries du sapin baumier dans le centre et le nord-est du Québec

André Lavallée

Rapport d'information LAU-X-70
1986

Centre de foresterie des Laurentides
Service canadien des forêts

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:

Centre de foresterie des Laurentides
Service canadien des forêts
1055, rue du P.E.P.S.
C.P. 3800
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

N° de catalogue Fo46-18/70F
ISSN 0703-2196
ISBN 0-662-93728-7

© Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1986

Available in English under the title: "Balsam fir decay in central and northeastern Quebec".

TABLE DES MATIÈRES

	Page
LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES	iv
RÉSUMÉ	vi
ABSTRACT	vi
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	2
Travaux sur le terrain	2
Analyse des données	4
Compilations	4
Variables	6
RÉSULTATS	6
Données volumétriques	6
Région de la forêt boréale	6
Région de la forêt feuillue	10
Principaux champignons responsables des caries	14
Localisation et fréquence	14
Points d'entrée des caries	14
Étage des arbres affectés	16
Caractéristiques de certains sites	16
DISCUSSION ET CONCLUSIONS	18
REMERCIEMENTS	21
RÉFÉRENCES	21

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Page

Tableau 1. Répartition du nombre de sapins baumiers mesurés et disséqués dans chacune des localités selon les types forestiers, les classes de fertilité et de drainage des sols..... 7

Tableau 2. Compilation des volumes échantillonnés à partir des données de base recueillies sur le terrain lors des dissections de sapins baumiers en forêt boréale..... 7

Tableau 3. Volume moyen (dm^3) par arbre et pourcentage de carie et rebut selon les classes d'âge du sapin baumier en forêt boréale (Valeurs estimées)..... 8

Tableau 4. Volume moyen (dm^3) par arbre et pourcentage de carie et rebut selon les classes de diamètre du sapin baumier en forêt boréale (Valeurs estimées)..... 9

Tableau 5. Compilation des volumes échantillonnés à partir des données de base recueillies sur le terrain lors des dissections de sapins baumiers en forêt feuillue..... 11

Tableau 6. Volume moyen (dm^3) par arbre et pourcentage de carie et rebut selon les classes d'âge du sapin baumier en forêt feuillue (Valeurs estimées)..... 11

Tableau 7. Volume moyen (dm^3) par arbre et pourcentage de carie et rebut selon les classes de diamètre du sapin baumier en forêt feuillue (Valeurs estimées)..... 13

Tableau 8. Distribution et fréquence des champignons responsables des caries du sapin baumier..... 15

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES (suite)

Page

Tableau 9. Répartition des catégories de caries selon l'étage du sapin baumier dans le peuplement (toutes les localités)..... 17

Tableau 10. Fréquence et volume des caries du sapin selon les localités..... 17

Figure 1. Localisation des places d'études de la carie du sapin baumier..... 3

Figure 2. Volume moyen (dm^3) par arbre en fonction de l'âge du sapin en forêt boréale. Volumes marchand brut (VMB), carié (VC) et rebut(VR)..... 8

Figure 3. Volume moyen (dm^3) par arbre en fonction du diamètre (DHP) du sapin en forêt boréale. Volumes marchand brut (VMB), carié (VC) et rebut (VR)..... 9

Figure 4. Volume moyen (dm^3) par arbre en fonction de l'âge du sapin en forêt feuillue. Volumes marchand brut (VMB), carié (VC) et rebut (VR)..... 12

Figure 5. Volume moyen (dm^3) par arbre en fonction du diamètre (DHP) du sapin en forêt feuillue. Volumes marchand brut (VMB), carié (VC) et rebut (VR)..... 13

RÉSUMÉ

L'analyse des résultats de dissection de 8 404 sapins baumiers de la forêt boréale ou de la forêt feuillue a permis de déterminer l'importance des caries en fonction de l'âge et du diamètre. En forêt boréale non perturbée, le volume marchand net du sapin progresse jusqu'à l'âge de 120 ans. Les conditions du milieu en forêt feuillue permettent des accroissements plus considérables du sapin et de ses caries, mais jusqu'à 140 ans, le volume marchand net continue de progresser. Le pourcentage du volume marchand affecté par les caries est aussi présenté en fonction du diamètre des sapins étudiés. En général, les caries du pied sont plus nombreuses et plus diversifiées que les caries du tronc. Par contre, ces dernières engendrent des caries trois fois plus volumineuses que les caries du pied. Une plus grande proportion d'arbres affectés de caries du tronc se rencontre chez les sapins de l'étage dominant tandis que les caries du pied sont plus fréquentes chez les arbres dominés. La fréquence et l'identité des principaux champignons de carie du sapin sont également considérées.

ABSTRACT

By analysing results from the dissection of 8 404 balsam fir trees from boreal and mixed hardwood forest the volume of decay was determined in relation to age and diameter. In undisturbed boreal forest, the net merchantable volume of balsam fir increases up to 120 years old. In mixed hardwood forest, fir trees grow better because of environmental conditions, but there is also more decay; however, the net merchantable volume increases until age 140. The percentage of merchantable volume infected by decay is also presented in relation to diameter of the fir trees studied. In general, butt rot is more frequent and varied than trunk rot. On the other hand, the latter produces decay that is three times more voluminous than butt rot. More trunk rot occurs among trees of the dominant storey, while the incidence of butt rot is greater among dominated trees. The identity and frequency of the principal fungi responsible for balsam fir rot are also discussed.

INTRODUCTION

Au Canada comme aux États-Unis, de nombreuses dissections d'arbres furent effectuées, entre 1940 et 1960, dans le but de caractériser les caries des principales essences rencontrées en forêt naturelle. On cherchait alors à établir les facteurs de réduction au mesurage pour les pertes attribuables aux caries selon l'âge des peuplements (Spaulding et Hansbrough, 1944). L'identité des champignons responsables des diverses caries et leur importance selon les sites faisaient également l'objet de ces études (Basham *et al.*, 1953).

Au Québec, une première étude (McCallum, A.W., 1928) fut publiée sur le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) à partir de données prises dans les régions du Lac-Saint-Jean et du Bas-Saint-Laurent. Entre 1938 et 1957, plusieurs autres régions de la province furent étudiées mais, à l'exception d'une description des caries du sapin (Pomerleau, 1948), peu de résultats quantitatifs furent publiés globalement. Deux rapports internes non publiés[1],[2] furent cependant préparés pour deux des six localités étudiées. Deux documents déjà publiés, un en Ontario (Morawski *et al.*, 1958) et l'autre dans les Maritimes (Davidson, 1957), devaient souvent être utilisés pour établir des valeurs applicables pour le Québec.

Le volume marchand brut du sapin au Québec est estimé à 919 millions de m³ sur la forêt commerciale (MER, 1984). Ce volume représente le tiers du volume des essences résineuses de la province (Bonnor, 1982) et l'aménagement plus intensif des sapinières nécessitera l'utilisation de toute l'information disponible sur les caries. Ces études antérieures se voulaient une aide pour le forestier qui cherchait à accroître la précision de ses inventaires lors de l'élaboration des plans d'aménagement et d'exploitation. Les résultats tenaient compte surtout des règles de mesurage du bois à pâte ou du bois d'oeuvre pour évaluer le <<rebut>> selon l'utilisation courante de l'espèce étudiée. Aujourd'hui, le sapin est souvent exploité en longueur ou en sections plus longues que le traditionnel 1,22 m (4 pi). Les informations relatives aux volumes réels de carie deviennent aussi pertinentes que celles calculées pour évaluer le <<rebut>> en fonction du mesurage. Dans cette optique, un retour à une banque de données sur les caries des conifères en peuplement naturel a servi de base aux

---

[1]Pomerleau, R. 1957. Studies on decay of balsam fir and red spruce in the eastern townships of Quebec. Interim Rep. 1957-1 et [2] Pomerleau, R.; Morin, L. 1959. Losses from decay in conifer stands in the Manicouagan watershed. Interim Rep.: 1959-1. Can. Dep. Agric. For. Biol. Lab. Qué.

analyses concernant le sapin baumier présentées dans ce document. Nos résultats seront donc présentés sous les deux angles <<carie>> et <<rebut>> et permettront à l'utilisateur de choisir l'information la plus pertinente pour ses besoins.

MÉTHODES

Travaux sur le terrain

Les données recueillies sous la direction du Dr R. Pomerleau résultent de travaux en forêt effectués au cours des années 1940 à 1944 et 1954 à 1957. Les mesures furent prises de la même façon tout au long des travaux de dissections.

Sur le terrain, les deux principaux critères pour le choix des places d'études furent:

1- L'homogénéité de la végétation herbacée déterminant le type forestier;

2- Une végétation arborescente représentative de la forêt avoisinante. Les bordures de ruisseaux, les pentes abruptes et les buissons d'arbrisseaux furent évités. Les principales régions où les dissections de sapin furent réalisées sont illustrées en figure 1. Ce sont:

1- Baie-Comeau (bassin de la Manic et rivière Toulnoustouc) et Shelter Bay (bassin de la rivière Sainte-Marguerite).
2- Estrie (bassins des rivières Saint-François, Nicolet et au Saumon).
3- Duchesnay et bassin de la rivière aux Pins.
4- Réserve (Parc) des Laurentides (bassins des rivières Noire, Jacques- Cartier, Sainte-Anne, aux Écorces et Malbaie).
5- Charlevoix (bassin de la rivière du Gouffre).
6- L'Islet, lac Sainte-Anne.

Trois de ces régions (1, 4 et 5) sont plutôt représentatives de la forêt boréale (Rowe, 1972), des domaines climaciques de la sapinière et de la pessière (Grandtner, 1966). L'épinette noire domine une bonne partie de cette forêt, mais le sapin peut se retrouver dans diverses proportions sous presque tous les types de couverts forestiers. Les peuplements étudiés n'avaient pas été récemment affectés par les feux ni par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.). Les trois autres régions (2, 3 et 6) se situent dans la forêt feuillue des domaines climaciques de l'érablière.

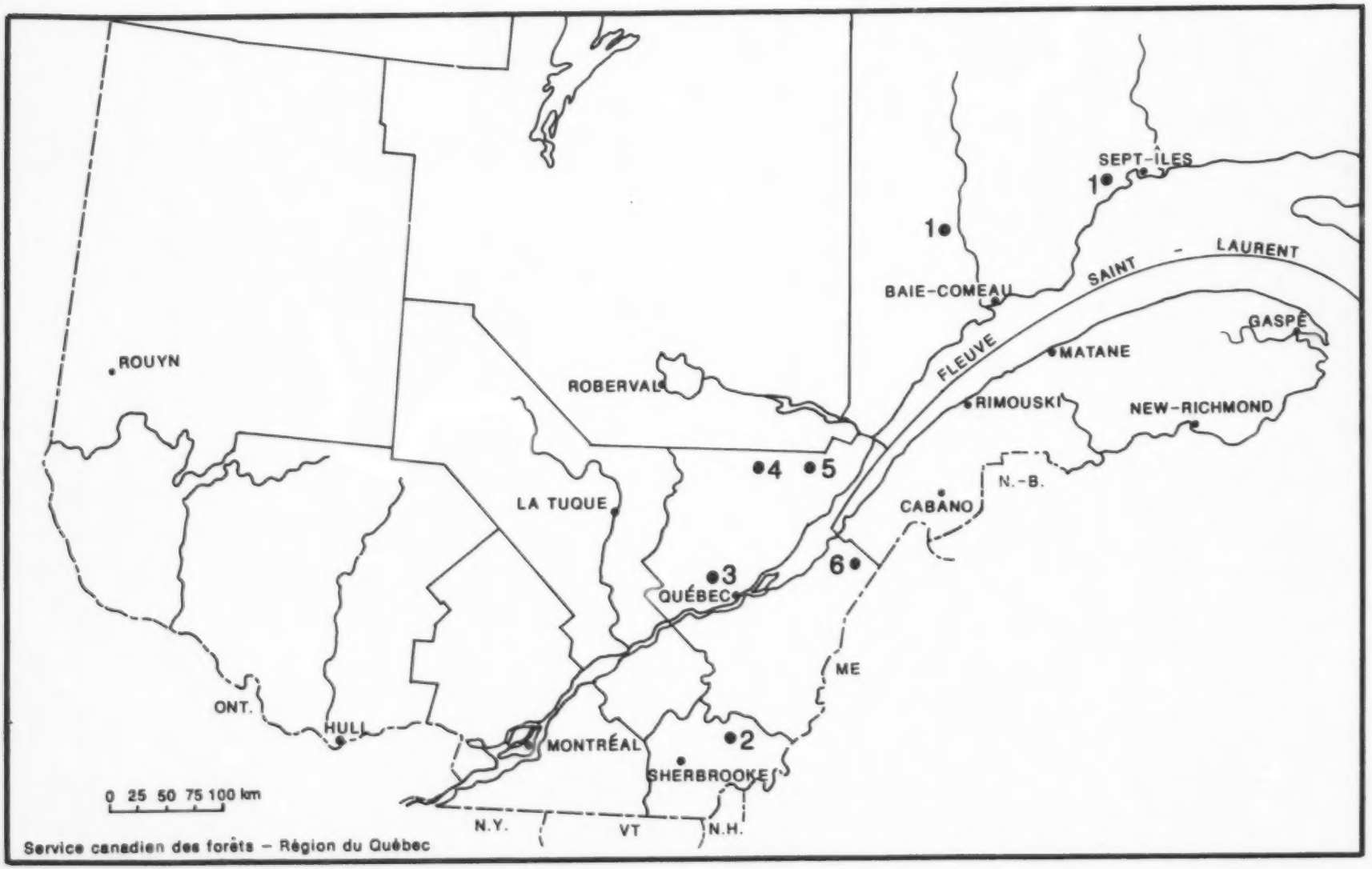

Figure 1. Localisation des places d'études de la carie du sapin baumier.

Sauf à Baie-Comeau où on a procédé par choix de diamètre dans un type forestier donné, tous les arbres furent coupés selon la méthode de la coupe à blanc. La majorité des places d'études étaient rectangulaires, d'une superficie de 0,1 ha (0,25 acre) et situées là où un minimum d'interventions antérieures était survenu. Quelques places étaient carrées, d'une superficie de 0,04 ha (0,1 acre).

L'étage de l'arbre et son état de santé étaient notés ainsi que la présence de signes indiquant les points d'entrée de la carie. Tous les arbres de plus de 9 cm (3,5 po) à hauteur de poitrine (DHP à 1,3 m du sol) étaient coupés à 15 cm du sol et sectionnés en longueur de 1,2 m (4 pi). Les mesures prises portaient sur: la longueur totale, le diamètre à mi-hauteur pour calculer le quotient de forme, la longueur marchande (jusqu'à un diamètre de 7,6 cm (3 po), le diamètre avec et sans écorce de chacune des extrémités des billes. L'âge de l'arbre était déterminé par le nombre de cernes annuels au DHP.

Lorsqu'une carie était présente, son diamètre était noté aux extrémités des billes et au besoin, la bille était coupée longitudinalement pour en obtenir la longueur exacte. La carie était ensuite quantifiée en terme de <<rebut>> selon les règles de mesurage du ministère québécois des Terres et Forêts de l'époque, soit 1955-57. Un échantillon de chaque type de carie fut prélevé et envoyé au laboratoire pour mise en culture et identification.

À l'intérieur de chaque aire étudiée, un relevé de la végétation et de la structure des sols à chaque horizon était effectué. On déterminait le pourcentage de sable, d'argile et de limon des sols par tamisage à sec. Le pH et l'humidité équivalente étaient également obtenus pour chacun des échantillons.

Analyse des données

Compilations

Le volume total de l'arbre fut obtenu par l'addition du volume de la souche (formule du cylindre), celui de la partie non marchande de la tige i.e. dont le diamètre est inférieur à 9 cm (formule du cône), et enfin le volume de la partie marchande de la tige. Ce dernier fut calculé par la formule du neiloïde de Newton pour chacune des sections de 1,2 m:

$$V = (B + 4B_{\frac{1}{2}} + b)\frac{L}{6}$$

où V = le volume; L = la longueur et B, b = les surfaces des sections aux gros et fin bouts de la bille.

Les volumes de carie furent calculés de façon analogue (formule de Newton et formule du cône) puisqu'on connaissait la longueur exacte et les diamètres cariés à chacune des sections.

Les tableaux des résultats présentent les données de base observées (tableaux 2 et 5) et les valeurs calculées d'après les courbes (tableaux 3, 4, 6 et 7). Compte tenu des données disponibles, les courbes en fonction de l'âge furent obtenues d'après les équations suivantes, établies selon la méthode de Régnière et Beilhartz[3] pour les fonctions non linéaires. Les coefficients de détermination (R^2) de toutes ces courbes variaient entre 0,92 et 0,99.

. Forêt boréale

$$VMB = \frac{240,7}{\left(1 + e^{-,1225\ (\text{âge} - 92,2)}\right)^{0,23}}$$

VT = 9,599 + 1,008 VMB

% carie = 0,725 + 0,0674 (âge)

% rebut = 4,17 + 1,33 (% carie)

VC = % carie/100 x VMB

VR = % rebut/100 x VMB

. Forêt feuillue

$$VMB = \frac{566,336}{\left(1 + e^{-,04\ (\text{âge} - 92,6)}\right)^{0,85}}$$

VT = 9,401 + 1,018 VMB

% carie = -2,41 + 1,229 (âge)

% rebut = 3,70 + 1,41 (% carie)

Les courbes en fonction du DHP furent obtenues d'après les équations polynômiales ou de puissance suivantes:

. Forêt boréale

$VMB = 91,7 - 17,677X_1 + 1,2116X_2$

$VT = 104,47 + 18,518X_1 + 1,248X_2$

$VC = 0,00036X_1^{3,5535}$

$VR = 0,00328X_1^{3,0389}$

. Forêt feuillue

$VMB = 144,27 - 22,730X_1 + 1,2802X_2$

$VT = 156,22 + 23,152X_1 + 1,305X_2$

$VC = 0,00041X_1^{3,4060}$

$VR = 0,00391X_1^{2,8908}$

---

[3] Régnière, J.; Beilhartz, D.W. 1983. Search, a user's manual. Non linear regression analysis: a handbook to commonly used equations, and initial parameter estimation. Environ. Can., Can. For. Serv. Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont., Mimeo. Rep.

---

e = 2,718; VMB = volume marchand brut; VT = volume total; VC = volume de carie; VR = volume de rebut; X_1 et X_2 = DHP et DHP^2

Variables

L'analyse des données fut d'abord faite en fonction des types forestiers déterminés par les relevés de végétation et classifiés selon Bellefeuille (1932), Heimburger (1934), Ray (1941), Lafond (1956) et Linteau (1955) dépendant de la date d'exécution des travaux. Quelques tendances furent décelées à ce niveau de subdivision du territoire. Dans la majorité des cas cependant, le nombre de répétitions était jugé insuffisant pour conclure à des différences significatives au niveau du type forestier d'une même localité ou d'une localité à une autre. Les résultats furent donc présentés pour la forêt boréale et pour la forêt feuillue mixte, dans lesquelles quelques tendances additionnelles furent notées selon la classe de fertilité et de drainage des sols.

Au total, 122 places d'études comprenaient le sapin baumier comme composante du peuplement. Le tableau 1 indique la répartition des études de tiges selon les types forestiers et les localités. On constate que dans plusieurs cas, l'échantillonnage ne permet pas des comparaisons à tous les niveaux.

Enfin, toutes les mesures ayant été prises en unités anglaises au moment de l'étude, les compilations furent effectuées sur cette base et les résultats convertis en unités métriques pour les fins de la présentation.

RÉSULTATS

Données volumétriques

Région de la forêt boréale

Au moment de la dissection, plus de la moitié du territoire supportait une forêt surannée. Les données volumétriques obtenues doivent donc être interprétées en conséquence; une forêt commerciale de sapin pur pourrait produire des résultats différents. Par contre, ces données réflètent assez bien les conditions rencontrées dans une forêt vierge non aménagée du Québec.

Le tableau 2 résume les compilations faites à partir des données du terrain et les présente par catégories d'âge du sapin baumier dans la forêt boréale. Ces chiffres ont servi à construire les courbes de la figure 2 et à établir les valeurs estimées pour l'arbre moyen dans chacune des classes d'âge de 10 ans. Les valeurs estimées sont présentées au tableau 3.

Tableau 1. Répartition du nombre de sapins baumiers mesurés et disséqués dans chacune des localités selon les types forestiers, les classes de fertilité et de drainage des sols

Types forestiers	Fertilité*	Drainage**	Nombre d'arbres						
			Forêt boréale Localités			Forêt feuillue Localités			Total
			1	4	5	2	3	6	
Cornus-oxalis	I	B						272	272
Dryopteris-oxalis	I	M				494	596		1 090
Aralia-Cornus	I	M	224						224
Aralia-Diervilla	I	M	192						192
Calliergon-Oxalis	II	B		297			494		791
Calliergon-Vaccinium	II	B	8	85			18		111
Kalmia-Vaccinium	II	B	3						3
Hypnum	II	B				47			47
Hylocomium-Oxalis	II	M	791	561	894	1 134	60		3 440
Hypnum-Cornus	II	M		110					110
Hypnum-Hylocomium	II	M		381					381
Hylocomium-Cornus	II	M	667		273				940
Calliergon	II	M	21						21
Sphagnum-Oxalis	II	P		637					637
Bazzania-Oxalis	III	M				145			145
Total			1 906	2 071	1 167	1 820	1 168	272	8 404

* Fertilité I à III de très bonne à pauvre.
** Drainage: bon (B), modéré (M), pauvre (P).

Tableau 2. Compilation des volumes échantillonnés à partir des données de base recueillies sur le terrain lors des dissections de sapins baumiers en forêt boréale

Classe d'âge	Nombre d'arbres échant.	Âge moyen	Hauteur moyenne (m)	DHP* moyen (cm)	Volume (m³)						Pourcentage du volume marchand brut	
					Total	Marchand brut**	Carie	Rebut	Marchand net (carie exclue)	Marchand net (rebut exclu)	Carie	Rebut
1-20	68	18	8,0	9,7	2,0	1,4	0,0	0,1	1,4	1,3	0,1	7,1
21-40	418	31	9,9	11,4	23,0	18,9	0,3	1,2	18,6	17,5	1,5	6,3
41-60	1 083	52	11,8	12,4	91,4	80,9	4,5	9,1	76,4	71,8	5,6	11,2
61-80	1 228	71	14,1	15,0	172,3	159,5	7,6	15,0	151,9	144,5	4,8	9,4
81-100	1 274	90	15,2	17,5	259,8	245,6	17,1	32,1	228,5	213,5	7,0	13,1
101-120	602	109	15,6	19,3	152,9	145,7	13,6	24,0	132,1	121,7	9,3	16,5
121-140	262	129	15,4	19,3	67,2	64,1	7,5	13,0	56,6	51,1	11,7	20,2
141-160	139	149	15,5	19,3	33,4	32,0	2,7	5,0	29,3	27,0	8,4	15,6
161+	70	175	16,2	20,3	17,9	17,1	1,7	3,1	15,4	14,0	9,9	18,1
Total	5 144				819,9	765,2	55,0	102,6	710,2	662,6		
Moy.											7,3	13,5

* Diamètre hauteur de poitrine, à 1,3 m du sol.

** Souche et partie non marchande de la tige exclues.

Tableau 3. Volume moyen (dm³) par arbre et pourcentage de carie et rebut selon les classes d'âge du sapin baumier en forêt boréale (valeurs estimées)

Classe d'âge	Nombre d'arbres	Hauteur moyenne (m)	DHP moyen (cm)	Volume (dm³) par arbre						Pourcentage du volume marchand brut	
				Total	Marchand brut	Carie	Rebut	Marchand net (carie)	Marchand net (rebut)	Carie	Rebut
20	137	8,3	10,2	41,3	31,5	0,7	2,2	30,8	29,3	2,1	6,9
30	211	10,2	11,0	51,6	41,7	1,2	3,3	40,5	38,4	2,8	7,8
40	325	10,6	11,4	65,3	55,2	1,9	4,8	53,3	50,4	3,4	8,7
50	583	11,9	12,4	83,3	73,2	3,0	7,0	70,2	66,2	4,1	9,6
60	604	12,9	13,5	107,0	96,7	4,6	10,2	92,1	86,5	4,7	10,5
70	609	14,0	14,7	137,4	128,9	6,9	14,5	114,4	114,4	5,4	11,4
80	658	14,5	16,3	173,7	162,8	10,0	20,0	152,8	142,8	6,1	12,3
90	668	15,2	17,5	209,7	198,4	13,5	26,2	184,9	172,2	6,8	13,2
100	462	15,5	18,3	234,6	223,2	16,7	31,5	206,5	191,7	7,5	14,1
110	310	15,8	19,2	246,2	234,7	19,1	35,2	215,6	199,5	8,1	15,0
120	191	15,8	19,5	250,3	238,7	21,1	38,0	217,6	200,7	8,8	15,9
130	122	15,8	19,5	251,5	240,0	22,8	40,3	217,2	199,7	9,5	16,8
140	94	15,9	19,8	251,9	240,4	24,4	42,5	216,0	197,9	10,2	17,7
150	64	15,9	19,8	252,0	240,5	26,1	44,7	214,4	195,8	10,8	18,6
160+	99	15,9	20,1	252,1	240,6	27,7	46,8	212,9	193,8	11,5	19,5

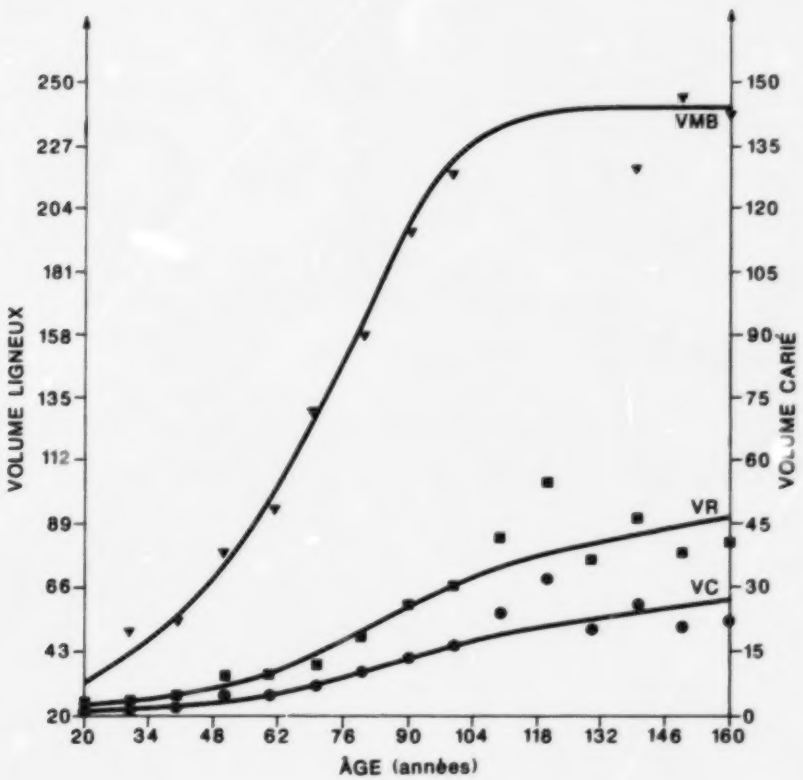

Figure 2. Volume moyen (dm³) par arbre en fonction de l'âge du sapin en forêt boréale. Volumes, marchand brut (VMB), carié (VC) et rebut (VR).

Tableau 4. Volume moyen (dm³) par arbre et pourcentage de carie et rebut selon les classes de diamètre du sapin baumier en forêt boréale (valeurs estimées)

DHP (cm)	Nombre d'arbres	Hauteur moyenne (m)	Âge moyen	Volume (dm³) par arbre						Pourcentage du volume marchand brut	
				Total	Marchand brut	Carie	Rebut	Marchand net (carie)	Marchand net (rebut)	Carie	Rebut
-9,0	444	7,6	52,0	22,0	13,3	0,6	1,9	12,7	11,4	4,5	14,2
10,2	867	9,5	61,5	38,5	29,8	1,4	3,8	28,4	26,0	4,7	12,7
12,7	877	12,2	71,6	71,3	62,1	3,0	7,4	59,1	54,7	4,8	11,7
15,2	841	14,0	80,0	111,6	107,9	5,7	12,8	102,2	97,1	5,3	11,9
17,8	803	15,8	87,0	179,6	169,0	10,0	20,7	159,0	148,3	5,9	12,2
20,3	580	17,1	92,2	251,8	240,1	16,0	30,8	224,1	209,3	6,6	12,8
22,9	342	18,2	97,2	339,5	326,2	24,6	44,4	301,6	281,8	7,5	13,6
25,4	179	19,2	103,2	435,2	420,1	35,5	60,8	384,6	359,3	8,5	14,5
27,9	115	20,6	110,6	541,5	524,3	49,6	80,8	474,7	443,5	9,5	15,4
30,5	66	22,0	113,3	662,6	642,9	68,1	105,9	574,8	537,0	10,6	16,4
31,8+	27	21,8	116,8	820,3	796,9	96,2	142,1	700,7	654,8	12,1	17,8

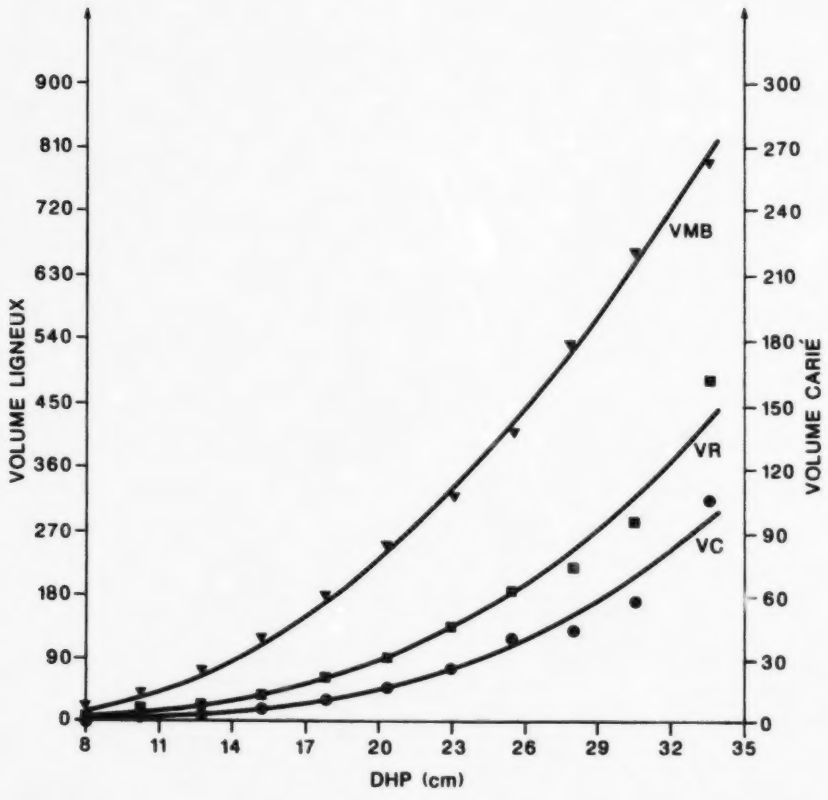

Figure 3. Volume moyen (dm³) par arbre en fonction du diamètre (DHP) du sapin en forêt boréale. Volumes, marchand brut (VMB), carié (VC) et rebut (VR).

Le tableau 3 indique bien la relation directe entre le pourcentage de carie ou de rebut et l'âge de l'arbre. Jusqu'à l'âge de 120 ans, le volume marchand net continue de s'accroître; par la suite, la proportion de carie ou de rebut s'accroît et entraîne un fléchissement de la courbe du volume marchand net. À cet âge, on constate également que le volume total, la hauteur moyenne et le diamètre moyen atteignent un plafonnement. Puisque les dissections furent réalisées seulement sur les arbres vivants, on ne peut évaluer l'importance de la carie qui aurait pu entraîner la mort des sapins dans ces peuplements. D'autre part, les hauteurs et diamètres moyens de ces arbres montrent qu'ils ont atteint la maturité sur ce territoire à un âge situé entre 90 et 110 ans.

Les volumes et pourcentages de carie en fonction du diamètre (DHP) de l'arbre sont présentés à la figure 3 et au tableau 4. Les arbres de 23 cm et moins avaient en moyenne un volume de carie de l'ordre de 6 % du volume marchand brut; pour les arbres de 24 à 30 cm, ce pourcentage se rapproche de 9 %. Par contre, le volume de rebut se situe entre 12 et 15 % du volume marchand brut pour les arbres de 12 à 28 cm au DHP.

Région de la forêt feuillue

Dans cette forêt, on rencontre fréquemment le sapin baumier en mélange avec plusieurs autres essences. Le nombre total de tiges étudiées dans l'ensemble des trois localités de ce type de forêt est de 3 260. Le climat plus clément et les sols plus riches supportent une forêt plus productive sur ce territoire du sud-est du Québec. Une des différences entre ce territoire et celui de la forêt boréale réside dans le fait que les peuplements vierges étaient pratiquement inexistants. Ce territoire avait subi au moins une coupe à la fin du 19e siècle; c'est pourquoi en 1955 la proportion d'arbres de 80 ans et plus dans les peuplements était beaucoup plus faible qu'en forêt boréale (tableau 5).

Les volumes marchands obtenus dans la forêt feuillue du sud du Québec sont pratiquement le double de ceux observés en forêt boréale à des âges comparables (figure 4). Que ce soit en fonction de la carie ou du rebut, le volume marchand net du sapin dans cette forêt feuillue continue de s'accroître significativement jusqu'à l'âge de 140 ans (tableau 6); par la suite, il présente un certain plafonnement sans toutefois diminuer en valeur absolue.

Tableau 5. Compilation des volumes échantillonnés à partir des données de base recueillies sur le terrain lors des dissections de sapins baumiers en forêt feuillue

Classe d'âge	Nombre d'arbres échant.	Âge moyen	Hauteur moyenne (m)	DHP* moyen (cm)	Volume (m³)						Pourcentage du volume marchand brut	
					Total	Marchand brut**	Carie	Rebut	Marchand net (carie exclue)	Marchand net (rebut exclu)	Carie	Rebut
1-20	22	19	6,7	8,6	0,4	0,3	0,0	0,03	0,3	0,3	0,0	10,0
21-40	441	33	10,4	11,4	27,3	23,0	0,2	1,2	22,8	21,8	0,9	5,2
41-60	1 609	52	13,8	15,7	247,3	226,6	6,4	13,9	220,2	212,7	2,8	6,1
61-80	701	68	15,1	18,3	150,8	141,3	9,4	17,3	131,9	124,0	6,7	12,2
81-100	254	89	15,2	21,1	73,4	70,1	7,6	13,2	62,5	56,9	10,8	18,8
101-120	155	109	17,0	24,9	64,7	60,1	6,8	11,3	53,3	48,8	11,3	18,8
121-140	55	128	18,1	27,9	33,6	32,3	3,7	5,9	28,6	26,4	11,5	18,2
141-160	12	147	18,4	31,0	7,5	7,3	1,0	1,6	6,3	5,7	13,7	21,9
161+	1	170	17,4	32,0	0,6	0,5	0,1	0,2	0,4	0,3	20,0	40,0
Total	3 260				605,6	561,5	35,2	64,7	526,3	496,8		
Moyenne											6,3	11,5

* Diamètre hauteur de poitrine, à 1,3 m du sol.

** Souche et partie non marchande de la tige exclues.

Tableau 6. Volume moyen (dm³) par arbre et pourcentage de carie et rebut selon les classes d'âge du sapin baumier en forêt feuillue (valeurs estimées)

Classe d'âge	Nombre d'arbres	Hauteur moyenne (m)	DHP moyen (cm)	Volume (dm³) par arbre						Pourcentage du volume marchand brut	
				Total	Marchand brut	Carie	Rebut	Marchand net (carie)	Marchand net (rebut)	Carie	Rebut
20	81	7,7	9,1	56,0	45,8	0,1	1,7	45,7	44,1	0,1	3,8
30	208	10,2	10,9	73,3	63,0	0,8	3,4	62,2	59,6	1,3	5,5
40	434	12,0	13,5	96,8	85,8	2,1	6,2	83,7	79,6	2,5	7,2
50	810	13,6	15,7	126,8	115,4	4,3	10,4	111,1	105,0	3,7	9,0
60	836	14,9	17,0	164,5	152,3	7,6	16,3	144,7	136,0	5,0	10,7
70	321	15,2	18,5	209,5	196,6	12,2	24,4	184,4	172,2	6,2	12,4
80	156	15,4	20,3	260,6	246,8	18,3	34,9	222,5	211,9	7,4	14,2
90	138	15,4	20,9	314,9	300,1	25,9	47,7	274,2	252,4	8,7	15,9
100	91	15,5	22,1	368,5	352,8	34,9	62,2	317,9	290,6	9,9	17,6
110	81	16,7	25,4	417,9	401,3	44,6	77,7	356,7	323,6	11,1	19,4
120	48	17,7	25,9	460,3	443,0	54,6	94,4	388,4	348,6	12,3	21,1
130	37	17,8	27,9	494,6	476,7	64,7	108,8	412,0	367,9	13,6	22,8
140	14	17,9	28,7	521,0	502,6	74,3	123,4	428,3	379,2	14,8	24,6
150	2	17,9	33,0	540,5	521,7	83,6	137,2	438,1	384,5	16,0	26,3
160+	3	18,2	34,8	554,5	535,4	92,4	150,1	443,0	385,3	17,2	28,0

Par contre, dans la forêt feuillue, le pourcentage de carie par rapport au volume marchand brut (tableau 6) semble plus élevé que dans la forêt boréale à partir de 60 ans.

L'importance de la carie en fonction du DHP du sapin en forêt feuillue est illustrée à la figure 5. Les sapins de moins de 15 cm au DHP présentent environ 4 % du volume marchand brut en carie, ce qui équivaut à 10 % de rebut (tableau 7). Pour les arbres de 18 à 30 cm de diamètre, ces pourcentages de carie et rebut varient de 5 à 8 % et de 10 à 13 % respectivement.

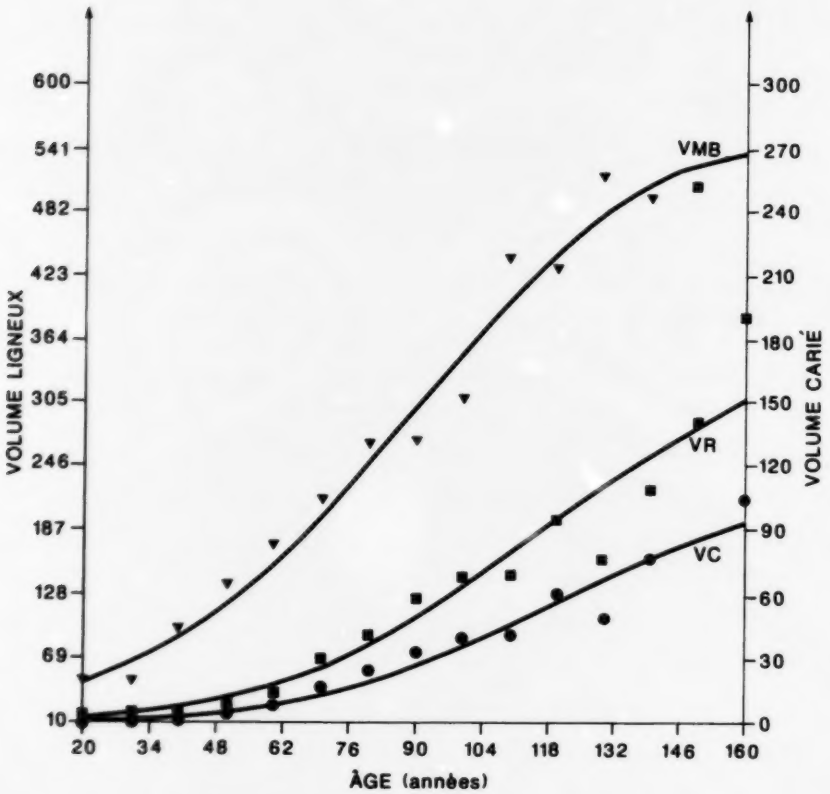

Figure 4. Volume moyen (dm^3) par arbre en fonction de l'âge du sapin en forêt feuillue. Volumes, marchand brut (VMB), carié (VC) et rebut (VR).

Tableau 7. Volume moyen (dm³) par arbre et pourcentage de carie et rebut selon les classes de diamètre du sapin baumier en forêt feuillue (valeurs estimées)

DHP (cm)	Nombre d'arbres	Hauteur moyenne (m)	Âge moyen	Volume (dm³) par arbre						Pourcentage du volume marchand brut	
				Total	Marchand brut	Carie	Rebut	Marchand net (carie)	Marchand net (rebut)	Carie	Rebut
-9,0	150	7,6	37,1	22,2	12,8	0,5	1,6	12,3	11,2	3,9	12,5
10,2	529	9,9	46,0	40,3	30,4	1,1	3,2	29,3	27,2	3,6	10,5
12,7	598	12,1	54,7	72,7	62,0	2,4	6,1	59,6	55,9	3,9	9,8
15,2	527	14,0	58,3	116,4	104,8	4,4	10,2	100,4	94,6	4,2	9,7
17,8	407	15,1	62,1	173,3	160,5	7,5	16,1	152,5	144,4	4,7	10,0
20,3	332	16,2	66,1	238,5	224,4	11,7	23,5	212,7	200,7	5,2	10,4
22,9	253	17,2	68,7	316,6	301,0	17,6	33,3	283,4	267,7	5,8	11,1
25,4	193	17,9	74,6	401,1	383,8	25,1	44,9	358,7	337,9	6,5	11,7
27,9	114	18,5	79,7	494,3	475,2	34,4	59,0	440,6	416,2	7,2	12,4
30,5	73	19,1	93,3	599,9	578,6	46,5	76,3	532,1	502,3	8,6	13,2
31,8+	84	20,2	101,7	816,0	790,2	76,3	116,5	713,9	673,7	9,7	14,7

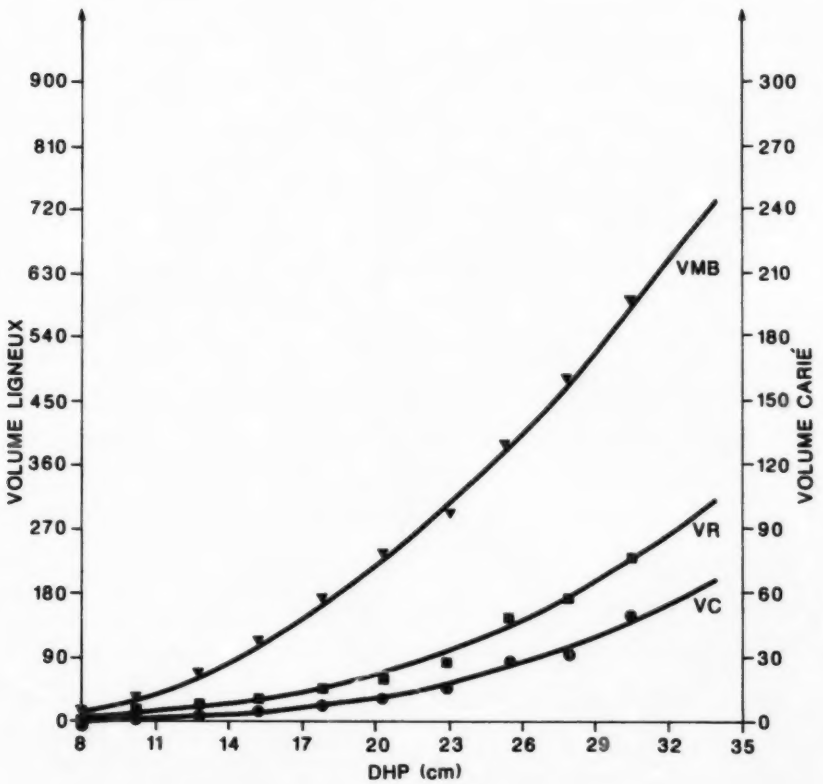

Figure 5. Volume moyen (dm³) par arbre en fonction du diamètre (DHP) du sapin en forêt feuillue. Volumes, marchand brut (VMB), carié (VC) et rebut (VR).

Principaux champignons responsables des caries du sapin

La mise en culture de chacune des caries rencontrées au cours des dissections a permis d'identifier les principaux champignons qui affectent le tronc ou le pied du sapin baumier en forêt naturelle.

Localisation et fréquence

Le tableau 8 permet d'évaluer l'importance relative des champignons de carie dans les diverses localités étudiées. Que ce soit en forêt boréale (localités 1, 4 et 5) ou en forêt feuillue (localités 2, 3 et 6), le *Stereum sanguinolentum* (Alb. et Schw. ex Fr.) Fr., devenu par la suite *Haematostereum sanguinolentum* (Fr.) Pouzar, est pratiquement responsable de toutes les caries du tronc dans le sapin. Cette carie rouge entraîne également les plus grandes pertes en volume de carie, comme nous le verrons plus loin.

La fréquence des caries du pied dépasse celle des caries du tronc, mais leur volume est beaucoup moindre. En outre, les caries du pied sont causées par une plus grande diversité d'organismes. Le *Poria subacida* (Pk.) Sacc. peut affecter les feuillus et les résineux et on le retrouve sur le sapin à tous les endroits étudiés. Puisque le *Corticium galactinum* (Fr.) Burt. a pu être confondu en culture avec *Poria subacida* au cours des différentes années des dissections (White, 1951), sa distribution ne peut être commentée. *Polyporus balsameus* Pk., une carie brune cubique, est le seul autre champignon rencontré dans toutes les localités.

La faible proportion des autres champignons identifiés et leur dispersion d'un endroit à l'autre ne permettent pas d'identifier une mycoflore spécifique à la forêt boréale ou à la forêt feuillue. Toutefois, notons que l'*Armillaria mellea* (Vahl ex Fr.) Kumm., un pathogène omniprésent en forêt semble affecter le sapin plus fréquemment dans les forêts feuillues.

Points d'entrée des caries

Les deux seuls champignons de carie du tronc considérés pour cette analyse furent le *H. sanguinolentum* et le *Fomes pinicola* (Sw. ex Fr.) Cke. Pour le premier, les branches cassées ont servi de point de pénétration au tronc dans 67 % des cas; les autres points de pénétration furent les blessures mécaniques (16 %), les gélivures (4 %), les fourches bayonnettes (3 %) et les cimes cassées. Le *F. pinicola*, responsable de moins de 1 % des caries du tronc, a surtout pénétré par des blessures mécaniques ou des branches mortes ou cassées.

Dans le cas des cinq principales caries du pied, la très grande majorité (97 %) des points d'entrée se situe au niveau des racines; les signes visibles sur le terrain étaient absents. Les blessures mécaniques et les gélivures furent les autres catégories de points d'entrée identifiées. L'absence de signes externes pour les caries du pied confirme que les stations d'études n'étaient pas situées dans un ancien brûlis et qu'aucune coupe ou débardage récents n'avaient eu lieu dans ces peuplements.

En somme, les champignons de carie du sapin semblent avoir majoritairement emprunté des points de pénétration non distinctifs d'une localité à une autre et les signes externes de carie ne

Tableau 8. Distribution et fréquence des champignons responsables des caries du sapin baumier

Partie cariée et champignons	Fréquence en % par localité						
	Forêt boréale Localités			Forêt feuillue Localités			Pourcentage du total
	1	4	5	2	3	6	Toutes localités
Caries du tronc							
Stereum sanguinolentum	49,0	44,0	33,4	34,4	43,5	38,1	41,0
Fomes pinicola	0,2	1,2	-	0,7	0,9	0,5	0,6
*Fomes pini**	-	0,1	-	0,8	0,4	-	0,3
Caries du pied							
Poria subacida et/ou	41,9	50,3	42,1	42,4	45,5	56,4	44,8
*Corticium galactinum***	-	-	-	-	-	-	-
Polyporus balsameus	2,8	3,5	6,3	3,7	8,4	0,5	4,3
Coniophora puteana	1,2	-	3,4	5,0	-	-	1,8
Odontia bicolor	0,9	-	-	2,6	-	-	0,7
Armillaria mellea	0,1	0,1	-	0,5	0,6	-	0,2
Merulius himantioides	0,2	-	-	2,1	-	-	0,5
Polyporus tomentosus	-	0,3	0,2	0,1	-	-	0,3
Polyporus schweinitzii	0,1	-	0,1	0,4	-	-	0,1
Polyporus abietinus	-	0,1	-	-	0,4	-	0,1
Basidio non identifiés	3,6	0,4	14,5	7,3	0,3	4,5	5,3
Total	100	100	100	100	100	100	

* Occasionnellement carie du pied.

** Ces deux espèces ont pu être confondues au cours des années de l'étude.

permettent pas de déceler une évolution différente d'un peuplement à l'autre.

Étage des arbres affectés

La proportion d'arbres affectés à chacun des étages du peuplement ainsi que le volume et la proportion relative des caries du pied et du tronc selon l'étage furent étudiés. L'examen des données n'a pas révélé de tendance particulière lorsque groupées selon les localités ou selon les types écologiques. L'analyse porte donc sur l'ensemble des localités.

Le tableau 9 indique d'abord que 48 % des arbres étudiés ne présentaient pas de carie. Le pourcentage d'arbres exempts de carie est plus grand aux étages intermédiaires et supprimés dans chacune des localités. La proportion d'arbres affectés de caries du pied augmente de l'étage dominant à l'étage supprimé tandis que l'inverse vaut pour la proportion d'arbres affectés de caries du tronc. Par contre, les volumes des deux catégories de caries diminuent en passant de l'étage dominant à l'étage supprimé. Pour un même étage, le volume moyen des caries du tronc est cinq fois plus grand que celui des caries du pied aux deux étages supérieurs; ce rapport est d'environ 3:1 pour les deux étages inférieurs. Le total des volumes cariés du tableau 9 ne correspond pas exactement à celui de la première partie de ce travail parce que quelques caries du pied et du tronc n'ont pu être assignées à l'une ou l'autre des catégories et furent mises de côté.

Caractéristiques de certains sites

La fréquence et le volume des caries du pied et du tronc d'une localité à une autre ont montré des différences qui ne peuvent être attribuées seulement au nombre d'arbres étudiés ou au nombre d'arbres avec de la carie (tableau 10). Par exemple, dans la forêt de Baie-Comeau (localité 1), le volume moyen de carie du tronc fut plus élevé que celui de la réserve des Laurentides (localité 4), même si le nombre d'arbres avec caries était équivalent aux deux localités. Des facteurs incontrôlables tels le climat, la topographie ou l'histoire du peuplement expliquent probablement ces variations. Pour atténuer l'influence de ces facteurs incontrôlables d'une localité à une autre, on a tenté de comparer les caries à l'intérieur d'une même localité et de rapporter le nombre de localités où le phénomène fut observé. À cette échelle, le nombre de comparaisons devient tellement limité qu'elles seront résumées dans le texte qui suit plutôt que de les illustrer par un dispositif très incomplet.

Tableau 9. Répartition des catégories de caries selon l'étage du sapin baumier dans le peuplement (toutes les localités)

Étage	Nombre d'arbres		Nombre de caries et proportion d'arbres affectés de carie				Volume et proportion du volume total des caries				Volume moyen des caries (dm³)*	
			Pied		Tronc		Pied		Tronc		Pied	Tronc
	Total	Sans carie (%)	No	%	No	%	m³	%	m³	%		
Dominant	1 401	484 (34)	654	71,3	587	71,8	8,3	8,1	36,7	35,9	11,7	56,7
Co-dominant	2 758	1 148 (42)	1 157	71,8	875	54,3	8,6	8,4	32,1	31,4	7,0	34,3
Intermédiaire	2 450	1 320 (54)	820	72,5	520	46,0	3,6	3,5	8,2	8,1	4,2	14,9
Supprimé	1 795	1 048 (58)	563	75,3	317	42,4	1,7	1,6	3,1	3,0	2,8	9,5
Total	8 404	4 000 (48)	3 284		2 299		22,1	21,6	80,1	78,4	6,5	32,7

* Volume moyen = volume des caries ÷ nombre de caries.

Tableau 10. Fréquence et volume des caries du sapin selon les localités

Localités	Nombre d'arbres		Nombre de caries		Volume total des caries (m³)		Volume moyen* des caries (dm³)	
	Total	Avec carie	Pied	Tronc	Pied	Tronc	Pied	Tronc
Forêt boréale								
1	1 906	940	631	607	3,5	25,4	5,5	41,8
4	2 071	1 176	860	700	5,1	18,6	5,9	26,6
5	1 167	660	623	303	3,5	9,2	5,6	30,4
Forêt feuillue								
2	1 820	944	748	427	5,2	14,3	6,9	33,5
3	1 168	509	376	303	4,3	11,5	11,4	37,9
6	272	175	134	84	0,5	1,1	3,7	13,1

* Volume moyen = volume des caries ÷ nombre de caries.

Tel que mentionné précédemment, la fréquence des caries du pied est généralement plus grande que celle des caries du tronc. Une exception fut remarquée sur les sites de la classe de fertilité I de Baie-Comeau (localité 1) où les caries du pied étaient deux fois moins fréquentes que les caries du tronc. Aussi, les volumes de carie engendrés par les caries du tronc sont environ trois fois plus grands que ceux des caries du pied dans toutes les localités sauf à l'endroit ci-haut mentionné où le rapport est de 14:1.

Dans la classe de fertilité II, le plus fort pourcentage de carie en volume se trouve dans le type forestier *Hylocomium-Oxalis* pour trois des quatre localités où il fut rencontré, le deuxième en importance étant dans le type *Hylocomium-Cornus*. D'autre part, le type forestier *Calliergon-Vaccinium* a présenté le moins de carie dans chacune des trois localités où il fut étudié, soit en forêt boréale ou en forêt feuillue. Le type *Dryopteris-oxalis* de la forêt feuillue présentait également moins de carie que l'ensemble.

Les données recueillies dans la réserve des Laurentides (localité 4) sont les seules qui permettent de comparer les trois catégories de drainage des sols. Malgré que les différences soient peu significatives, mentionnons qu'à cet endroit, le volume moyen et la fréquence des caries du pied s'accroît en passant des sites bien drainés (5,2 dm^3/carie) aux sites mal drainés (5,9 dm^3/carie); la fréquence de ces caries du pied étant 2,5 fois plus grande sur les sites mal drainés que sur les sites bien drainés. Cette relation est la même pour les caries du tronc, mais avec moins d'écart entre les trois classes de drainage. Les comparaisons dans les autres localités, entre les sites bien drainés et ceux à drainage modéré, n'ont révélé rien de particulier. Mentionnons seulement qu'en forêt boréale, le type *Hypnum-Hylocomium* a semblé encore plus affecté par les caries que le type *Hylocomium-Oxalis* dans la localité 4.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

La majorité des études de carie publiées antérieurement indiquent une corrélation des caries en fonction de l'âge de l'arbre. En effet, le volume de carie augmente généralement avec l'âge de l'arbre et est influencé par plusieurs facteurs du milieu. La relation diamètre-carie peut dans certains cas être considérée, mais on sait que le diamètre est fortement influencé par la qualité du site dans une région donnée.

Les données recueillies furent donc analysées principalement en fonction de l'âge, mais afin de permettre une utilisation pratique, les mêmes données furent présentées en fonction du diamètre, même si la corrélation était parfois moindre.

Pour la différenciation écologique des données volumétriques, on a dû limiter nos analyses à l'échelle de la forêt boréale et de la forêt feuillue du sud du Québec. Les résultats de ces études de caries réparties dans différents endroits de la province peuvent servir de base générale d'information, mais ils devront être complétés à l'échelle locale si on veut obtenir une précision adéquate. Puisque les données proviennent d'études d'arbres individuels prélevés dans différents peuplements de composition et de densité variables, on doit se garder de les utiliser sur une base de superficie.

Les données volumétriques portant sur le volume total et marchand des tiges en forêt boréale sont légèrement moindres que celles de McCallum (1928). Elles se rapprochent de celles de Davidson (1957) et sont plus élevées que celles de Morawski *et al.* (1958). Par contre, les pourcentages de volumes cariés ou rebut de cette dernière étude se comparent bien avec nos données pour la forêt feuillue; les autres études citées rapportent un plus fort pourcentage de rebut surtout chez les arbres de 100 ans et plus. Compte tenu de la diversité des stations étudiées et des différences dans les règles de mesurage pour le calcul du rebut, les valeurs obtenues dans l'ensemble sont comparables à celles déjà publiées.

Les résultats obtenus en forêt boréale diffèrent de ceux de la forêt feuillue et reflètent des différences importantes dans les milieux de croissance. Dans la forêt boréale, on atteint l'âge de maturité du peuplement vers 120 ans pour une forêt vierge apparemment non perturbée par le feu ou les insectes, où le sapin se retrouve souvent en mélange avec l'épinette noire. Près de 10 % du volume marchand des arbres vivants est alors carié entraînant environ 18 % de rebut pour la pulpe au mesurage. À partir de 120 ans, la carie semble agir de façon cyclique d'après les données de base; certains arbres, généralement les plus cariés, tombent, le volume carié des arbres restants diminue et par la suite, il augmente à nouveau. Le type forestier *Hylocomium-Cornus* comportant le plus de carie se situait souvent dans cette forêt surannée.

Dans la forêt feuillue, le volume marchand net s'accroît jusqu'aux environs de 140 ans. Par contre, l'analyse d'une partie de ces données (Pomerleau, 1957)[1] situe la maturité pathologique entre 110 et 140 ans selon les types forestiers; cet auteur signale aussi qu'elle se retrouve entre 70 et 100 ans d'après les accroissements annuel moyen et périodique net. Dans cette forêt feuillue de 140 ans, les proportions de carie et rebut pour la pulpe sont respectivement de l'ordre de 15 et 25 % du volume marchand qui lui est le double de celui de la forêt boréale. Les conditions du milieu en forêt feuillue semblent donc favoriser une meilleure croissance de l'arbre et de ses pathogènes de carie.

De plus, si le rebut avait été déterminé en fonction du sciage, il aurait fallu ajouter environ 4 % au volume de rebut présenté dans les résultats (Pomerleau, 1957)[1]. Tel que déjà observé (McCallum, 1928), les données volumétriques et celles reliées à l'étage des arbres semblent indiquer que les arbres à croissance rapide ont présenté un plus fort pourcentage de carie. D'autre part, pour une période donnée, ces arbres produisent un plus grand volume net de matière ligneuse que les arbres à croissance lente.

L'identité, le mode de pénétration et l'importance relative des champignons de carie du sapin correspondent à ce qui fut rapporté antérieurement (Basham *et al*., 1953; McCallum, 1928; Spaulding et Hansbrough, 1944). Ces études signalent qu'une carie peut résulter de l'action successive de plusieurs champignons dont certains seraient d'importance secondaire. Cependant, la fréquence cumulative des cultures de champignons de carie obtenues par différents chercheurs à différents endroits nous indique une importance relative équivalente, du moins pour les six principaux pathogènes. L'importance et le mode d'entrée du principal champignon de carie du tronc, *H. sanguinolentum*, ont déjà fait l'objet d'études plus détaillées (Davidson et Etheridge, 1963) au Québec et ailleurs.

Les caries du tronc sont beaucoup plus volumineuses que les caries du pied. Il est possible que plusieurs points d'entrée sur un même tronc alimentent une même carie à différents niveaux sur l'arbre. Dans un peuplement de 2e ou 3e venue, ou dans une forêt où on a pratiqué la coupe des feuillus par diamètre limite, on devra s'attendre à plus de carie sur les arbres de tous les étages. Effectivement, Lortie (1968) illustre et décrit la grande diversité

de points d'entrée qu'on peut rencontrer dans une forêt plus souvent perturbée même si elle est plus jeune que celles étudiées ici. Nos résultats mentionnent une plus grande proportion d'arbres sans carie aux étages inférieurs parce qu'alors, la forêt étudiée avait été très peu perturbée.

Les comparaisons entre les caries du pied et du tronc à l'intérieur d'une même localité sont possibles puisqu'on réfère aux mêmes arbres en termes d'âge et d'histoire du peuplement. Aucun champignon important n'était limité à une seule localité. La relation entre l'importance des caries et le drainage des sols de la localité 4 correspond à celle notée par Morawski *et al*. (1958) pour les sapins de moins de 100 ans. Elle est cependant l'inverse de la relation établie par Whiney (1974) dans un peuplement résineux en Ontario. Des études plus spécifiques sont requises pour en apprendre davantage sur la fréquence et le taux de progression des caries dans un type particulier de forêt. Une des relations à retenir en vue d'études ultérieures est celle déjà rapportée (Heimburger et McCallum, 1940; Basham *et al*., 1953) à l'effet que les caries du pied sont plus nombreuses sur les terrains bien drainés de la forêt feuillue que sur les terrains plats et moins bien drainés de la forêt résineuse.

Les résultats présentés dans ce document devraient servir de supplément aux inventaires forestiers surtout lorsqu'il s'agit de déterminer les volumes marchands nets en fonction des caries du sapin. Il est évident qu'à l'échelle locale certains facteurs de pertes par les caries seront différents; c'est pourquoi des échantillonnages additionnels seront requis si on veut en accroître la précision.

REMERCIEMENTS

L'auteur désire remercier Messieurs R. Laguë, G. Robitaille et J. Régnière du CFL pour leur aide indispensable lors de l'analyse des données informatisées.

RÉFÉRENCES

Basham, J.T.; Mook P.V.; Davidson, A.G. 1953. New information concerning balsam fir decays in eastern North America. Can. J. Bot. 31:334-360.

Bellefeuille, R. 1932. Détermination de la capacité de production des stations par l'étude de la végétation de sous-bois. Études forestières, Ass. Ing. Forestiers

de la Prov. Québec, 1932. pp. 83-106.

Bonnor, G.M. 1982. Inventaire des forêts du Canada 1981. Environ. Can., Serv. Can. For., Stat. For. Systèmes. Ottawa, Ont. 79 p.

Davidson, A.G. 1957. Studies in Forest Pathology. XVI Decay in balsam fir, *Abies balsamea* (L.) Mill. in the Atlantic provinces. Can. J. Bot. 35: 857-874.

Davidson, A.G.; Etheridge, D.E. 1963. Infection of balsam fir by *Stereum sanguinolentum* (Alb. and Schw. ex Fr.) Fr. Can. J. Bot. 41: 759-765.

Grandtner, M.M. 1966. La végétation forestière du Québec méridional. Les Presses de l'Université Laval. Univ. Laval, Québec, Qué. 216 p.

Heimburger, C.C. 1934. Forest site studies in the Adirondack region. Cornell Univ., Agric. Exp. Stn., Memoir 165.

Heimburger, C.C.; McCallum, A.W. 1940. Balsam fir butt-rot in relation to some site factors. Pulp Paper Mag. Can. 41: 301-303.

Lafond, A. 1956. Notes pour l'identification des types forestiers. Qué. North Shore Pap. Co., Baie-Comeau, 1ère édition.

Linteau, A. 1955. Forest site classification of the Northeastern coniferous section boreal forest region, Quebec. Can. Dep. North. Affairs Nat. Resour. For. Res. Div. Bull. 118, 93 p.

Lortie, M. 1968. Quelques défauts indicateurs de carie chez le sapin baumier. Fonds Rech. For. Univ. Laval. Bull. No 11, 38 p.

McCallum, A.W. 1928. Studies in forest pathology. 1. Decay in balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill) Can. Dep. Agric. Bull. 104 (new series), 25 p.

MER, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. 1984. Ressource et industrie forestières. Portrait statistique 1984, 46 p.

Morawski, Z.J.R.; Basham, J.T.; Turner, K.B. 1958. A survey of a pathological condition in the forests of Ontario. Ont. Dep. Lands For., Rep. No. 25, Cull Studies 96 p.

Pomerleau, R. 1948. Les caries du sapin. Minist. Terres For., Québec. Bull. n° 12 (nouvelle série) 8 p.

Ray, R.G. 1941. Site types and rate of growth. Can. Dept. Mines and Resources, For. Br., For. Res. Div., Silv. Res. Note 65, 63 p.

Rowe, J.S. 1972. Les régions forestières du Canada. Environ. Can., Serv. Can. For., Publ. 1300F, 172 p.

Spaulding, P.; Hansbrough, J.R. 1944. Decay in balsam fir in New England and New York. U.S. Dep. Agric. Tech. Bull. 872:1-30.

White, L.T. 1951. Studies of Canadian Telephoraceae. VIII *Corticium galactinum* (Fr.) Burt. Can. J. Bot. 29: 279-296.

Whitney, R.D. 1974. Appraisal of root rot damage in conifer stands in Ontario. Abstract Proc. Can. Phytol. Soc. No. 41.